

BBSR-  
Online-Publikation  
38/2024

# BIM-LoVE

## Entwicklung eines Level of Visualization zur Standardisierung der Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert  
Donald Lako



# BIM-LoVE

Entwicklung eines Level of Visualization zur Standardisierung  
der Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-21.42

Projektlaufzeit: 10.2021 bis 10.2023

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### Fachbetreuerin

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“  
Anne Bauer  
anne.bauer@bbr.bund.de

### Autorinnen und Autoren

RWTH Aachen University  
Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen (ICoM)  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert (Lehrstuhl- und Institutsleitung)  
Donald Lako, M. Sc. (Projektleitung)  
lako@icom.rwth-aachen.de

### Redaktion

RWTH Aachen University

### Stand

Mai 2024

### Gestaltung

RWTH Aachen University

### Bildnachweis

Titelbild: ICoM - Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen der RWTH Aachen

### Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

### Zitierweise

Klemt-Albert, Katharina; Lako, Donald, 2024: BIM-LoVE: Entwicklung eines Level of Visualization zur Standardisierung der Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen. BBSR-Online-Publikation 38/2024, Bonn.

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
Abstract	10
Einführung	13
Problemstellung	15
Zielstellung	19
Forschungsdesign	21
AP1 - Status quo und Potentialanalyse	27
Ausgangssituation	27
Methode	28
Ergebnisse	32
Visualisierungsarten	32
Status quo branchenüblicher Visualisierungstechniken im Hochbau (Materialien, Soft- & Hardware)	45
Definition von Bauwerksvisualisierungen	48
Verortung unterschiedlicher Anwendungen für Bauwerksvisualisierungen in der Wertschöpfungskette	50
Anwenderspezifikation und Zielgruppenidentifizierung	52
AP2 - Evaluation und Extraktion	53
Ausgangssituation	53
Methode	54
Durchführung und Ergebnisse	58
Definition der Anwendungen im Kontext der Wertschöpfungskette Bau durch Expertenwissen & -workshops	58
Identifizierung vorhandener LOIN/LOD-Definitionen der Baubranche in Bezug auf BIM	63
Zusammenfassung	67
Identifizierung & Beschreibung von Qualitätskriterien im Hinblick auf Bauwerksvisualisierungen	68
Qualitative Bewertung und Priorisierung der identifizierten Qualitätskriterien	73
Auswahl geeigneter Referenzprojekte	79
Spezifikation notwendiger Soft- und Hardware je Anwendung	79
AP3 - Konzipierung des Level of Visualization	81
Ausgangssituation	81
Methode	82
Ergebnisse	93
Evaluation der Wirkbeziehung von Qualität und Anwendung	93

Spezifikation von Qualitäten der Bauwerksvisualisierung	96
Mehrdimensionale Ergebnismatrix	98
Ableitung geeigneter Stufen für das LoV-Konzept unter Einbeziehung des Konsortiums	98
Definition des LoV-Stufenkonzepts	101
Entwicklung eines Referenzmodells als Demonstrator	103
<b>AP4 - Validierung, Anpassung LoV-Konzept</b>	<b>108</b>
Ausgangssituation	108
Monatlicher Jour fixe mit den Forschungspartnern	108
Validierung durch Expertenworkshops in AP3	109
Abstimmung mit FIWA (Freie Ideenwerkstatt für Architektur und Kunst)	109
Peer-Review	110
<b>AP5: Erarbeitung Leitfaden zur Ergebnisdistribution</b>	<b>111</b>
<b>Fazit</b>	<b>114</b>
<b>Mitwirkende</b>	<b>117</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>118</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>119</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>121</b>
<b>Anhänge</b>	<b>122</b>
Anhang 1: Ergebnisse Literaturrecherche	123
Anhang 2: Interviews	127
Anhang 3: Auswertung der Interviews	147
Anhang 4: BIM-LoVE-Glossar	148
Anhang 5: Liste Sender / Empfänger von Visualisierungen nach AHO und HOAI	163
Anhang 6: Ergebnisse der Onlineumfrage zur Relevanz der vorläufigen Qualitätskriterien in verschiedenen Anwendungsszenarien	168
Anhang 7: Vergleich LOIN- und LoV-Dimensionen	170
Anhang 8: Ergebnisse Workshop zur Auswahl der vorläufigen Kriterien	172
Anhang 9: Definition der Qualitätskriterien	174
Anhang 10: Spezifikation der Hard- und Software	180
Anhang 11: Auswertung Präsenzworkshop	194
Anhang 12: Auswertung der Onlineumfrage zur Ermittlung der Rangfolgen von Qualitätskriterien	195
Anhang 13: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala	217
Anhang 14: Mehrdimensionale Matrix zur Ermittlung des anwendungsfallspezifischen LoV	222
Anhang 15: LoV-Leitfaden	218



## Kurzfassung

BIM (Building Information Modeling) findet zunehmend Anwendung in der Planungs- und Bauphase von Bauprojekten. Die BIM-Methode sieht die Koordination innerhalb eines Bauprojekts auf Grundlage eines BIM-Modells vor. Das BIM-Modell als digitales Abbild des realen Objektes eröffnet zahlreiche Möglichkeiten um die wachsenden Projektanforderungen wie die steigende Komplexität der Projekte mit zahlreichen Akteuren, Ressourcen und Qualitäten zu bewältigen. Auch auf die Erstellung von Bauwerksvisualisierungen hat die BIM-Methodik enormen Einfluss.

Die Relevanz von Bauwerksvisualisierungen in einem Projekt wurden schon vor langer Zeit erkannt. Angefangen bei analogen Skizzen bis hin zu 3D-Modellen, die mit Bauwerksinformationen angereichert werden, spielen Visualisierungen immer eine zentrale Rolle für die Kommunikation und den Austausch zwischen Projektbeteiligten. Die Erstellung von Visualisierungen ist seit jeher fester Bestandteil des Planungsprozesses von Bauwerken.

Durch die Digitalisierung entstehen zunehmend neue Methoden, die zur Visualisierung von Bauwerken genutzt werden können. Von der Planung über die Genehmigung bis hin zum Bau und Betrieb eines Bauwerks werden eine Vielzahl von Entscheidungen mithilfe von Bauwerksvisualisierungen getroffen. Allerdings sind zentrale Fragen bezüglich der Definition und Beschreibung der Qualität von Visualisierungen noch ungeklärt. Trotz der Anerkennung der Relevanz von Visualisierungen als Hilfsmittel in der Kommunikation zwischen Projektbeteiligten, gibt es bisher noch keine Standards für die Beschreibung und Bewertung von Bauwerksvisualisierungen.

Bei der Beauftragung von Planungen durch einen Auftraggeber oder eine Auftraggeberin sind häufig Bauwerksvisualisierungen in den geforderten Leistungen inkludiert. Bei einer genaueren Betrachtung dieser Leistung, werden keine genauen Angaben zur erwarteten Qualität von Bauwerksvisualisierungen gemacht. Nur in wenigen Fällen wird eine Anzahl an geforderten Visualisierungen sowie deren Visualisierungsarten spezifiziert. Daraus folgt, dass die Angebote für die Ersteller und Erstellerinnen von Visualisierungen häufig nicht nachvollziehbar sind und keine systematische Bewertung der gelieferten Visualisierungen möglich ist.

Die Beantwortung dieser Forschungslücke ist das zentrale Thema dieses Forschungsprojekts. Durch die zielgerichtete Analyse innerhalb des Projekts wird in einem Stufensystem ein **Level of Visualization – LoV** (Grad der Visualisierung)

vorgeschlagen und in einem Leitfaden dargestellt. Ziel dieses Leitfadens ist einerseits für AuftraggeberInnen und AuftragnehmerInnen eine Hilfestellung für die Beschreibung und Bewertung von Visualisierungen als Leistungen in Bauprojekten zu liefern und andererseits den zielorientierten Einsatz von Visualisierungen in Bauprojekten zu fördern.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Analyse bezüglich der Qualität von Bauwerksvisualisierungen zusammen und unterbreitet einen Vorschlag für die Definition von Bauwerksvisualisierungsgraden (LoV) entlang verschiedener Qualitätskriterien. Diese Analyse wird als Grundlagenforschung betrachtet, da die Begriffe der Qualität von Bauwerksvisualisierung, welche bisher noch nicht in diesem Ausmaß untersucht wurden, konsekutiv ausgearbeitet werden. Deswegen wird das Projekt in insgesamt fünf Arbeitspakete (AP) zur Beantwortung von fünf Teilfragen aufgeteilt. Zur Beantwortung der Teilfragen werden verschiedene methodische Ansätze gewählt, die zur umfassenden Integration diverser Perspektiven beitragen sollen. Daher liegt der Schwerpunkt auf der Durchführung von Experteninterviews und quantitativen Onlineumfragen.

In **AP1** wird zuerst der Status quo von Bauwerksvisualisierungen im Bausektor untersucht und eine Analyse der Potenziale, welche Bauwerksvisualisierungen für die Bauprojekte generieren, durchgeführt. Dabei ist es wichtig, zu identifizieren, welche die gängigsten Visualisierungsarten in der Baubranche sind, wie sehr und insbesondere wo diese im Projektgeschäft eingebunden sind, welche Mehrwerte schon tatsächlich erkannt wurden und welche projektspezifischen Standards bereits Anwendung finden.

In **AP2** werden Anwendungen von Bauwerksvisualisierungen identifiziert, Kriterien für die Beschreibung von Qualität im Hinblick auf die Bauwerksvisualisierungen entlang der Dimensionen Form, Medium, Darstellung und Detaillierung untersucht und spezifiziert und mit relevanten Stakeholdern in der Branche abgestimmt sowie validiert. Dadurch wird eine erste Basis für ein weiterführendes LoV-Konzept geschaffen.

In **AP3** wird untersucht, wie die einzelnen Kriterien sich auf die Anwendungen der Bauwerksvisualisierungen im Bauprozess auswirken und in welchem Rahmen sich diese für ein Stufenkonzept bewerten lassen. Dafür ist es notwendig, Kriterien in einzelnen Szenarien abzubilden und die Relevanz der Visualisierungen im Bauprozess durch diese Kriterien zu ermitteln. Darüber hinaus ist es erforderlich, Bewertungsskalen für die ermittelten Kriterien aufzustellen. Im Anschluss wird die Verständlichkeit und Einsetzbarkeit der Kriterien sowie die Bewertungsskala durch einen Workshop

untersucht und analysiert. Eine wichtige Erkenntnis hierbei ist die Feststellung, dass nicht alle Kriterien dieselbe Gewichtung bei der Bewertung von Bauwerksvisualisierungen haben. Unter Betrachtung der Erkenntnisse wird zunächst durch Interviews und eine Umfrage ein Gewichtungssystem erarbeitet, welches die Übersetzung der Bewertungsskala in ein fertiges LoV-Konzept unterstützt.

In **AP4** wird in einer mehrstufigen Iteration das erarbeitete Konzept geprüft und validiert. Die Validierung der Ergebnisse ist ein fortlaufender Prozess über alle Phasen des Projekts. Relevante Stakeholder des Bausektors werden regelmäßig in verschiedene Abstimmungen eingebunden, um die Validität der Ergebnisse zu gewährleisten.

In **AP5** werden alle Ergebnisse in einen praxisorientierten Leitfaden zusammengetragen. Dazu werden Beispielvisualisierungen aufbereitet, um die Ergebnisse praxisorientiert und nutzerfreundlich darzustellen.

Die erarbeiteten Kriterien werden im Rahmen einer umfangreichen Literaturrecherche identifiziert und durch verschiedene Umfragen, Interviews und Workshops erweitert und validiert. Die Analyse zeigt, dass Bauwerksvisualisierungen zweckgebunden sind und als Kommunikationsmedium zwischen zwei Parteien sowohl eine objektive als auch eine subjektive Tendenz aufweisen, welche in der Ausarbeitung der Kriterien berücksichtigt wird. Des Weiteren wird auch festgestellt, dass nicht alle Kriterien je nach Zweck dieselbe Relevanz in der Bestimmung eines LoV besitzen. Dies wird in der Form von einem Gewichtungssystem ebenso in der Entwicklung des LoV-Konzepts berücksichtigt. Durch die Analyse wird klar dargestellt, wie unterschiedlich die Definitionen von Qualität in Bezug zu Bauwerksvisualisierungen sind. Im Rahmen dieses Projekts wird darüber hinaus festgestellt, dass es sich bei dem betrachteten Forschungsgegenstand um ein sehr junges Forschungsgebiet handelt. Insofern ist es notwendig, weitere zukünftige Untersuchungen durchzuführen, um den entwickelten Standard für die Beschreibung von Bauwerksvisualisierungen im Bausektor zu optimieren.

## Abstract

BIM (Building Information Modeling) was established as the digitalization method in construction industry. This means that projects are coordinated and implemented based on a BIM model. The BIM model as a digital image of the real object opens up numerous possibilities to cope with the growing project requirements (complexity of projects with numerous actors, resources and qualities), including building visualizations.

The relevance of building visualizations in a project was recognized long time ago. From simple sketches to complex CAD models, enriched by building information: Visualizations have always played a central role in communication and exchange between project participants. The creation of visualizations has always been an integral part of the planning process of buildings.

Digitalization in the construction industry is enabling new methods that can be used to visualize buildings. Along the life cycle of a building decisions are made based on building visualizations. However, key questions regarding the definition and description of visualizations remain unanswered. Despite the recognition of the relevance of visualizations as an aid in communication between project participants, there are still no standards for the description and evaluation of the quality of building visualizations.

When planning is commissioned by a client, building visualizations are often included in the required services. When taking a closer look at this service, no precise information is provided offering the expected quality of building visualizations. Only in a few cases a number of required visualizations and their visualization types are specified. As a result, the offers are often not comprehensible for the creators of visualizations and no systematic evaluation of the visualizations provided is possible.

The main goal of this research project is filling this research gap. The result of this analysis is the derivation of a Level of Visualization (LoV), which is summarized in an additional compendium. The aim of this compendium is, on the one hand, to provide clients and contractors with assistance for the description and evaluation of visualizations as services in construction projects and, on the other hand, to support the effective use of visualizations in construction projects.

This analysis is seen as fundamental research in which the concepts of the quality of building visualization, which have not yet been investigated in this specific regard, are

developed step by step. For this reason, the project was divided into a total of five work packages (WP).

In **WP1**, the status quo of building visualizations in the construction sector was first examined and an analysis of the potential that building visualizations bring to construction projects was carried out. It was important to identify the most common visualizations in the construction industry, how much and where they are integrated in the project business, which added values have already been recognized and which project-specific standards and potentials can already be seen.

In **WP2**, applications of building visualizations were identified, criteria for the description of quality with regard to the building visualizations along predefined dimensions (form, medium, representation and detailing) were examined and specified and coordinated and validated with the partners. This created an initial basis for a further LoV concept.

**WP3** investigated how the individual criteria affect the applications of building visualizations in the construction process and in which framework they could be evaluated for a step by step concept. For this purpose, it was necessary to map criteria in individual scenarios and to determine the relevance of the visualizations in the construction process through these criteria. In addition, it was necessary to set up evaluation scales for the identified criteria. The comprehensibility and applicability of the criteria and the rating scale were then examined and analyzed in a workshop. An important finding here was that not all criteria can have the same weighting in the evaluation of building visualizations.

In **WP4**, the developed concept is tested and validated in a multi-stage iteration. Considering the findings WP3, a weighting system is developed through interviews and a survey, which helped to integrate the translation of the evaluation scale into a finished LOV concept. The validation of the results was an ongoing process throughout all phases of the project. The experts were involved in various consultations to ensure the validity of the results.

In **WP5**, all results were to be compiled in a practice-oriented guide. For this purpose, sample visualizations are prepared to present the results in a more vivid way.

This report summarizes the results of the analysis regarding the quality of building visualizations and makes a proposal for the definition of building visualization levels (LoV) along various quality criteria. The criteria developed were identified through extensive literature research and expanded and validated through various surveys,

---

interviews and workshops. The analysis shows that building visualizations are purpose-bound and, as a communication medium between two parties, both have an objective and a subjective tendency, which was considered in the development of the criteria. Furthermore, it was also established that not all criteria have the same relevance depending on the purpose. This was also considered in the development of the LoV concept in the form of a weighing system. The analysis clearly shows how different the definition of quality is in relation to building visualizations. This project also establishes that the number of experts and data used does not represent the entire opinion of the construction industry. It furthermore makes evident that the research in this field is fairly new. It is therefore necessary to carry out further research to develop a generally valid standard for the description of building visualizations in the construction sector.

## Einführung

Die visuelle Wahrnehmung spielt eine herausragende Rolle in unserem Alltag, da unser Sehsinn rund siebzig Prozent unserer Umweltinformationen vermittelt.<sup>1</sup> Visualisierungen stellen daher ein effizientes Mittel dar, komplexe Sachverhalte verständlich zu vermitteln und damit das Verständnis des Sachverhalts zu erhöhen.<sup>2</sup> Visualisierungen dienen in der Bauindustrie als entscheidendes Kommunikationsmittel und erfreuen sich insbesondere im Planungs- und Bauprozess vielfacher Anwendung. Die Vielzahl an Stakeholdern, die im Bauwesen vertreten ist, kann anhand von Visualisierungen eine gemeinsame Basis für Entscheidungen definieren. Auch die VDI-Richtlinie 7001 beschreibt Visualisierungen als zentralen Bestandteil der Kommunikation, welcher essenziell für das Verständnis in allen Planungs- und Bauphasen eines Bauprojekts ist.<sup>3</sup>

Die Wahl des Darstellungsformats und der verwendeten Tools zur Erstellung einer Bauwerksvisualisierung hängt dabei von den jeweiligen Zielen und den Anwendungsszenarien ab. Die Bauwerksvisualisierung wird insbesondere für die Darstellung komplexer Bauprojekte immer bedeutsamer. Durch die fortschreitende Digitalisierung ergeben sich neue technische Möglichkeiten für Visualisierungen, wie beispielsweise haptische Modelle aus dem 3D-Druck oder immersive Virtual Reality-Umgebungen (VR).

Der Bedarf an standardisierten Qualitätskriterien für Visualisierungen in der Bauwirtschaft ist immens. In verschiedenen Projekten, insbesondere auf öffentlicher Ebene, ist es erforderlich, qualitativ hochwertige Visualisierungen für Bürgerbeteiligungen und Öffentlichkeitsarbeit zu erstellen. Doch klare Empfehlungen und konkrete Definitionen für die Visualisierungsqualität unter Berücksichtigung verschiedener Formen (visuell, virtuell, haptisch), Medien (Bildschirm, VR-Umgebung), Darstellungen (technisch, fotorealistisch) und Details (Farben, Texturen) fehlen bisher. Diese Lücke erschwert es ausschreibenden Stellen, die angemessene Qualität zu bestimmen und den damit verbundenen Aufwand angemessen zu bewerten. Als Antwort auf diese Herausforderungen hat dieses Forschungsvorhaben das Ziel, einen

---

<sup>1</sup> Dörner et al. 2019, p. 4.

<sup>2</sup> Hausknecht / Liebich 2016, p. 55.

<sup>3</sup> Verein Deutscher Ingenieure 2021, p. 18.

---

standardisierten Level of Visualization (LoV) unter Berücksichtigung bestehender LOIN/LOD-Definitionen zu entwickeln. Es sollen Empfehlungen für die geeigneten Qualitätskriterien für verschiedene Anwendungsfälle bereitgestellt werden. Diese Ergebnisse werden in einem nutzerfreundlichen Leitfaden veröffentlicht und sollen als Handlungsanweisungen für Projekte sowie für produktneutrale Ausschreibungen dienen. Das Projekt fördert die Zusammenarbeit zwischen Planung, Bau und Betrieb, der Einbeziehung der Perspektiven der öffentlichen Hand, dem Auftragnehmer, dem Nutzer und Start-ups, die innovative Virtual Reality-Lösungen entwickeln. Die Bauwirtschaft benötigt definierte Standards zur Beschreibung der Anforderungen und Qualitätskriterien von Bauwerksvisualisierungen, um den steigenden Ansprüchen der Nutzer gerecht zu werden. Die entwickelten Qualitätsrichtlinien werden dazu beitragen, die Qualität von Visualisierungen in verschiedenen Bauprojekten anwendungsgerecht zu steigern und deren Anwendung präziser und effizienter zu gestalten.

## Problemstellung

Die Digitalisierung hat umfassende Auswirkungen auf die Kooperation in Bauprojekten. Die gestiegenen Anforderungen an die Kommunikation mit Projektbeteiligten und der Öffentlichkeit sowie die zunehmende Komplexität von Projekten rücken die Bedeutung von Bauwerksvisualisierungen deutlich stärker in den Fokus.

Visualisierungen sind in der Baubranche von zentraler Bedeutung. In herkömmlichen Projekten werden Visualisierungen in Architektur- und Ingenieurbüros häufig anhand von 2D-Plänen erstellt, wobei die Anforderungen an diese oft informell festgelegt werden. Spezifische Leistungsanforderungen für Visualisierungen sind in der Praxis selten verfügbar. Die Wahl der Visualisierungen in Bauprojekten wirft Problemstellungen auf, die wie folgt lauten:

- Mangel an allgemeingültigen Anforderungen an Visualisierungen und daher erschwerte Beauftragung von Visualisierungen
- Mangelnde Definitionen und Standards für Prozessschritte, Schnittstellen und Qualitäten und daraus resultierende mangelnde Transparenz
- Komplexität der Wahl der Visualisierungsart aufgrund der Vielfalt möglicher Optionen, die durch neue, digitale Ausgabemedien weiter steigen

Eine digitale Bauwerksvisualisierung, erstellt auf Basis eines BIM-Modells, dient der verbesserten Kommunikation und Transparenz. Doch innovative Möglichkeiten bedeuten auch, dass neue Hindernisse und Herausforderungen entstehen. Aktuell gibt es keine veröffentlichte Definition für die Qualitäten und Ausprägungen von (digitalen) Visualisierungen, obwohl spezifische Anforderungen an den Informationsbedarf und den Entwicklungsstand gestellt werden.

Die zentrale wissenschaftliche Fragestellung dieses Forschungsberichts betrifft die Entwicklung eines umfassenden und geeigneten Konzepts für ein Level of Visualization (LoV). Dieses Konzept soll die Wechselwirkung zwischen Anwendung und Qualität unter Berücksichtigung verschiedener Dimensionen der Visualisierung einschließen. Die klare und verständliche Formulierung des Konzepts ist entscheidend, da es zukünftig die Möglichkeit bieten soll, als Grundlage für Ausschreibungen und Auftragsvergaben im Bauwesen verwendet zu werden. Die Bedürfnisse des Bauherrn dienen als Ausgangspunkt für die Konzeption. Diese Forschungsarbeit wird die aktuellen BIM-Standards, die verfügbaren technologischen Visualisierungsmöglichkeiten sowie die unterschiedlichen Perspektiven der Akteure in

der Bauwertschöpfungskette analysieren und in einer multidimensionalen Ergebnismatrix zusammenführen. Diese Matrix wird die Zusammenhänge und möglichen Kombinationen unter Berücksichtigung des erwarteten Mehrwerts und Aufwands veranschaulichen.

Zusätzlich wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersucht, wie Visualisierungsoptionen in einem digitalen und produktneutralen Umfeld (im Sinne des „Open-BIM-Ansatzes“) beschrieben und gefordert werden können. Durch die Implementierung standardisierter Visualisierungsstufen wird angestrebt, die Zusammenarbeit zwischen Architekten, Ingenieuren, Auftraggebern, Bürgern und zukünftigen Nutzern zu stärken. Das übergeordnete Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit besteht in der Verbesserung der Planungs- und Entwurfsqualität im Bauwesen.

Um die oben geführten Fragen zu beantworten, wurde das Vorhaben in Teilfragen untergliedert. Diese Teilfragen dienen dazu, durch eine sukzessive Analyse des komplexen Untersuchungsgegenstands, das Gesamtziel (Entwicklung des LoV-Konzepts) zu erfüllen. Die Begründung der Notwendigkeit und die Formulierung der einzelnen Teilfragen werden in den nachfolgenden Punkten dargestellt.

### **Teilfrage 1:**

Die Auswahl der richtigen Bauwerksvisualisierungsarten in Bauprojekten ist von entscheidender Bedeutung, da die Vielfalt der verfügbaren Optionen stetig wächst. Es gibt zahlreiche Bauwerksvisualisierungen, die in Projekten eingesetzt werden. Durch die BIM-Methode werden immer häufiger Mehrwerte der Bauwerksvisualisierungen in den Projekten realisiert. Allerdings gibt es auch zahlreiche Potenziale, die nicht genutzt werden. Es ist also notwendig, zu ermitteln, welche die gängigen Bauwerksvisualisierungen in der Baubranche sind und zu welchen Zwecken sie genutzt werden.

Diese Problematik wird in der folgenden Frage zusammengefasst:

**Welche Arten von Bauwerksvisualisierungen finden in welchen Anwendungsszenarien die häufigste Anwendung?**

### **Teilfrage 2:**

Nach der Beantwortung der Teilfrage 1 stellt sich die Frage des konkreten Einsatzes bestimmter Bauwerksvisualisierungen. Bauwerksvisualisierungen werden immer

häufiger als eine Unterstützung im Projekt herangezogen. Allerdings entsteht oft eine Diskrepanz zwischen Erwartungen und Ergebnissen. Dies führt in der Praxis zu Missverständnissen. Aufwand und Preis stehen nicht in Korrelation zu der Qualität einer Visualisierung, da eine systematische Definition bezüglich der Qualität einer Bauwerksvisualisierung nicht vorhanden ist. Eine klare Definition von Anwendungsfall, Adressaten, Zweck und geforderter Qualität ist somit notwendig für einen effektiven Einsatz von Bauwerksvisualisierungen.

Abgeleitet wird die folgende Teilfrage:

**Welche qualitätsbestimmenden Faktoren und Kriterien, sogenannte Qualitätskriterien, müssen bei der Definition der Qualität von Bauwerksvisualisierungen abgebildet werden?**

### **Teilfrage 3:**

Auf Basis der Ausarbeitung der Qualitätskriterien für Bauwerksvisualisierungen zur Beantwortung der Teilfrage 2 soll ein Bewertungssystem entwickelt werden. Dabei steht der Kontext, das heißt die Intention hinter der Erstellung der Visualisierung, im Fokus. Da abhängig von der intendierten Anwendung die relevanten Qualitätskriterien variieren, sollen diese je Anwendungsfall mithilfe von Onlineumfragen gewichtet werden. Das Bewertungssystem soll schließlich für jeden Anwendungsfall praxistaugliche Qualitätskriterien und die dazugehörige Bewertungsskala definieren, womit diverse Visualisierungsarten einer Qualitätsstufe zugeordnet werden können.

Daraus resultiert die folgende Frage:

**Wie ist ein anwendungsspezifisches Konzept für ein Level of Visualization zu gestalten, damit Bauwerksvisualisierungen in verschiedene Stufen der Qualität eingeordnet werden können?**

### **Teilfrage 4:**

Nach der Entwicklung eines LoV-Konzepts als Antwort auf die Teilfrage 3, ist zu prüfen, ob das Konzept praxistauglich ist. Das ergibt die Frage:

**Wie kann das entwickelte LoV-Konzept in Bauprojekten angewendet werden?**

**Teilfrage 5:**

Durch die Beantwortung der Teilfragen 1 bis 4 kann aufgezeigt werden, dass für die Akteure in der Praxis Hilfestellungen im Kontext von Bauwerksvisualisierungen entwickelt und zur Verfügung gestellt werden müssen. Zur Erfüllung des Hauptziels des Forschungsprojekts und um eine weitere Durchdringung in der Praxis zu bewirken, wird abschließend ein Leitfaden entwickelt, der genau beschreibt, wie die Qualität einer Bauwerksvisualisierung für einen bestimmten Zweck zu ermitteln und zu definieren ist. Der Leitfaden soll wichtige Aspekte bezüglich der Qualität von einer Bauwerksvisualisierung enthalten sowie eine Übersicht über alle Einflussfaktoren im Bezug zur Qualität von Bauwerksvisualisierungen liefern. Der Leitfaden wird sowohl für bauaffine als auch für fachfremde Personen entwickelt, um eine gemeinsame Ebene für die Ermittlung und Bestellung von Visualisierungsleistungen zu ermöglichen.

Somit lautet die 5. Teilfrage:

**Wie gestaltet sich ein praxisorientierter Leitfaden zur Umsetzung des Level of Visualization?**

## Zielstellung

Zusammenfassend zielt dieses Forschungsvorhaben darauf ab, die Vorteile der dreidimensionalen, objektbasierten Planung von BIM-Modellen für Bauwerksvisualisierungen nutzbar zu machen. Um eine bedarfsgerechte Visualisierungserstellung zu ermöglichen, ist jedoch die Einführung eines klaren Stufenkonzepts notwendig, das die unterschiedliche Gestaltung der Qualität von Visualisierungen in verschiedenen Anwendungsfällen transparent macht. Dieses sogenannte LoV-Konzept soll dazu beitragen, Standards für die Bauindustrie festzulegen und die Qualität der Gestaltung, Zusammenarbeit und Partizipation der Öffentlichkeit im Planungsprozess zu steigern. Der Leitfaden, der in einem breiten Rahmen für alle Beteiligten in der Branche zugänglich sein wird, konzentriert sich auf die Entwicklung eines standardisierten LoV für digitale Bauwerksvisualisierungen. Dieser soll in Anlehnung an die etablierten Detaillierungsgrade (LOIN/LOD) in BIM-Projekten entwickelt werden und simultan den spezifischen Anforderungen der Visualisierung gerecht werden. Das übergeordnete Ziel ist es, den steigenden Anforderungen an Visualisierungen gerecht zu werden, indem die Wechselwirkung zwischen der gewünschten Anwendung und der erforderlichen Qualität in verschiedenen Dimensionen berücksichtigt wird. Hierbei sind visuelle, haptische und virtuelle Aspekte genauso relevant wie die Berücksichtigung verschiedener Darstellungsmedien (z. B. Bildschirm, VR-Cave, 3D-Druck) und unterschiedliche Darstellungsformen (abstrakt, fotorealistisch etc.).

Die Ziele dieses Forschungsvorhabens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Entwicklung eines klaren und präzisen Konzepts für ein LoV, das als Grundlage für Ausschreibungen, Vergaben und Leistungsbeschreibungen im Bauwesen dienen kann.
2. Die Identifizierung von Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen auf der Grundlage der Bedürfnisse der Bauherren.
3. Die Analyse der bestehenden BIM-Standards, der verfügbaren Visualisierungstechnologien und der Perspektiven aller Beteiligten in der Bauwertschöpfungskette.
4. Die Erstellung einer multidimensionalen Ergebnismatrix, die die Zusammenhänge und Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Visualisierungsoptionen unter Berücksichtigung des erwarteten Mehrwerts und Aufwands aufzeigt.

5. Die Untersuchung, wie Visualisierungsoptionen in einem digitalen und produktneutralen Umfeld (im Sinne des „Open-BIM-Ansatzes“) beschrieben und gefördert werden können.

Die Forschungsarbeit legt den Schwerpunkt auf die praktische Anwendbarkeit des LoV-Konzepts. Durch die wiederholte Einbindung relevanter Akteure in Expertenworkshops und durch ein regelmäßiges Einholen von Feedback durch das Forschungskonsortium wird sichergestellt, dass die Zielsetzung aus verschiedenen Perspektiven betrachtet und kontinuierlich weiterentwickelt wird. Das Ziel besteht darin, ein umfassendes und geeignetes LoV-Konzept zu entwickeln und es als Handreichung für Auftraggeber und Auftragnehmer in der Baubranche zur Verfügung zu stellen.

Darüber hinaus wird durch das Forschungsprojekt und den Leitfaden eine Förderung der systematischen, pragmatischen und zweckgebundenen Nutzung von Bauwerksvisualisierungen in Projekten erzielt. Die Erkenntnis der Relevanz von Bauwerksvisualisierungen in Projekten ist zwar gegeben, leidet dennoch unter diversen Missverständnissen, was insbesondere die Erwartungshaltung der Auftraggeber und Auftragnehmer angeht. Durch einen strukturierten Leitfaden und die Entwicklung eines LoV soll ein Fundament für die Beauftragung von Bauwerksvisualisierungen sowie die sinnvolle Einbindung verschiedener Bauwerksvisualisierungen entlang der Bauwertschöpfungskette geschaffen werden. Damit wird das Ziel verfolgt, das gegenseitige Verständnis der Projektbeteiligten sowie die Zusammenarbeit zwischen Architekten, Ingenieuren, Auftraggebern, Bürgern und zukünftigen Nutzern zu fördern, um schließlich die Planungs- und Entwurfsqualität im Bauwesen zu verbessern.

## Forschungsdesign

In diesem Kapitel wird der methodische und organisatorische Rahmen des Forschungsprojekts erläutert. Dazu zählen die Kernthese, der methodische Ansatz, die allgemeine Vorgehensweise und der Terminplan sowie die Meilensteine des Projekts.

- Das Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen (ICOM), im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) im Rahmen des Innovationsprogramms Zukunft Bau, bearbeitet das Projekt als Grundlagenforschung unter der Beteiligung relevanter Stakeholder im Bereich der Bauwerksvisualisierung.<sup>4</sup> Kernthese und Arbeitshypothesen

Bauwerksvisualisierungen können heutzutage auf Grundlage objektbasierter Planungsmodelle (BIM-Modelle) erstellt werden. Es ist notwendig, ein Stufenkonzept unter Einbindung relevanter Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette zu entwickeln. Die Kernthese der Forschungsarbeit lautet: Die Entwicklung eines LoV und dessen Einbettung in ein Stufenkonzept in der Form eines Leitfadens schafft eine fundierte Ausgangsbasis, um einen Standard in Bezug auf die Qualität von Bauwerksvisualisierungen in der Baubranche einzuführen.

- Methodischer Ansatz im Projekt

Für dieses Forschungsprojekt wird über die verschiedenen Arbeitspakete ein „Mixed-Methods-Ansatz“ (MMA) bestehend aus Leitfrageninterviews, Onlineumfrage und Workshops ausgewählt, wodurch mehrere (Stakeholder-)Perspektiven in der Analyse inkludiert werden. Das finale LoV-Konzept wird unter Einbindung experimenteller bzw. explorativer Forschungsmethoden entwickelt. Eine Bauwerksvisualisierung bedient immer einen Zweck und wird durch einen Ersteller für einen Adressaten angefertigt. Häufig ist der Adressat eine fachfremde Person und der Ersteller ein Experte.<sup>5</sup> Folglich ist es notwendig, beide Perspektiven sowie die verschiedenen zweckgebundenen Anforderungen im Projekt zu betrachten. Ein MMA ermöglicht es, die Vorteile einer quantitativen und qualitativen Analyse zu vereinen, sodass mehrere Perspektiven betrachtet werden können.

---

<sup>4</sup> Siehe AP5 - Mitwirkende.

<sup>5</sup> Verein Deutscher Ingenieure (2021), pp. 18–19.

Mit dem MMA werden Elemente der quantitativen Forschung und der qualitativen Forschung kombiniert, um die bereits vorgestellten Forschungsfragen zu beantworten. MMA-Methoden können im Vergleich zu einer alleinstehenden quantitativen oder qualitativen Studie dabei helfen, einen umfassenderen Eindruck zu erhalten, da sie die Vorteile beider Methoden vereinen.<sup>6</sup>

Eine Forschung mit MMA wird häufig in den Verhaltens-, Gesundheits- und Sozialwissenschaften eingesetzt, insbesondere in multidisziplinären Kontexten und bei komplexen, situativen oder gesellschaftlichen Fragestellungen.<sup>7</sup>

Zur Beantwortung der **Teilfrage 1** (Erfassung des Status quo vgl. Kapitel „Problemstellung“) wird zunächst der Stand der Implementierung von Bauwerksvisualisierungen in Bauprojekten ermittelt. Dafür werden Qualitäten, Ziele, Techniken und Anforderungen von Visualisierungen identifiziert und darauffolgend eine Potentialanalyse zum Mehrwert, wie sich bedarfsgerechte Visualisierungen auf Planung, Bau und Betrieb auswirken können, durchgeführt. Dabei werden vorherrschende Begriffe zum Thema Bauwerksvisualisierungen analysiert, um ein Glossar zu entwickeln, welches das einheitliche Verständnis der Thematik fördern soll. Ein inkongruentes Verständnis der Thematik erschwert eine eindeutige Auswertung der Ergebnisse, da keine einheitliche Sprache vorhanden ist. Es ist also notwendig, eine grundlegende Sprache für das Projektkonsortiums zu definieren.

Für die Beantwortung der **Teilfrage 2** werden zuerst Anwendungen entlang der Wertschöpfungskette unter Einbindung der Experten definiert. Dabei geht es prinzipiell darum, zu ermitteln, wann im Planungs- oder Bauprozess welche Bauwerksvisualisierungen am häufigsten zum Einsatz kommen und welche Mehrwerte diese bieten. Um diese Analyse durchzuführen, wird auf die Leistungsphasen der HOAI zurückgegriffen und die Meinungen der Experten aus den Umfragen sowie den Interviews miteinbezogen. Dabei werden ebenfalls vorhandene LOIN-/LOD-Definitionen berücksichtigt.

In Abstimmung mit den beteiligten Akteursgruppen wird eine quantitative Bewertung von Visualisierungsqualitäten durchgeführt und entsprechend als **LoV-Konzept** beschrieben. Dafür werden zuerst Qualitätskriterien von Bauwerksvisualisierungen auf

---

<sup>6</sup> Migiro / Magangi (2011), 1 von 8.

<sup>7</sup> Creswell (1999), pp. 455–456.

Grundlage der Literaturrecherche identifiziert und analysiert. Anschließend werden Informationsbedarfe und relevante Anwendungsfälle zur Analyse der Bauwerksvisualisierungen ermittelt. Bauwerksvisualisierungen werden überwiegend zur Kommunikation erstellt, um die Entscheidungsfindung im Rahmen einzelner Anwendungsfälle zu erleichtern. Im Kontext der Digitalisierung und BIM werden für diese Forschung die BIM-Anwendungsfälle betrachtet.

Die Informationsbedarfe bilden die Grundlage für die Ermittlung der Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen und deren Einsatzfähigkeit und somit auch die weitere Ausarbeitung der Qualitätskriterien. Deswegen wird untersucht, welche Bauwerksvisualisierungen in welcher Form für die Nutzung im Rahmen von BIM-Anwendungsfällen in Frage kommen.

Gleichzeitig wird ein Bewertungssystem zur Analyse von Bauwerksvisualisierungen entwickelt und in einem Workshop getestet. Dies stellt den ersten Schritt in Richtung des LoV-Konzepts dar. Ziel dabei ist es, eine gemeinsame Vorstellung oder Definition davon zu erarbeiten, was eine qualitativ hochwertige Visualisierung ausmacht, und wie sich diese anhand der festgelegten Kriterien beschreiben lässt. Das LoV-Konzept wird in dem Fall auf die Wirkungsbeziehungen von Qualität und Anwendung hin untersucht und die beschriebenen Qualitäten weiter spezifiziert. Als Ergebnis entsteht eine mehrdimensionale Ergebnismatrix. Bei der Analyse der Wirkungsbeziehungen zwischen Qualität und Anwendung werden Erkenntnisse gewonnen, die in die Konkretisierung des LoV-Konzepts miteinfließen.

Durch die Validierung der Ergebnisse anhand eines Workshops mit Experten des Forschungskonsortiums wird die praxisgerechte Anwendbarkeit gewährleistet. In einer zusätzlichen Verifikationsschleife wird dies mit weiteren externen Experten wiederholt. Hierbei liegt der Fokus gezielt auf dem Open-BIM-Ansatz und dem technischen Stand in Bezug auf vorhandene Soft- und Hardware in der Baubranche sowie dem Innovationspotential bei Start-ups.

Im Ergebnis der Extraktion und unter Einbeziehung aller gesammelten Erkenntnisse steht die visuelle Aufbereitung von Beispieldarstellungen und die Ergebniszusammenstellung für den Leitfaden, welcher mit fundierten Empfehlungen als praxisorientierte Handreichung für Bauherren und Auftragnehmer fungieren soll.

Die folgende Abbildung 1 fasst die einzelnen Schritte der Strukturierung des Forschungsvorhabens zusammen:

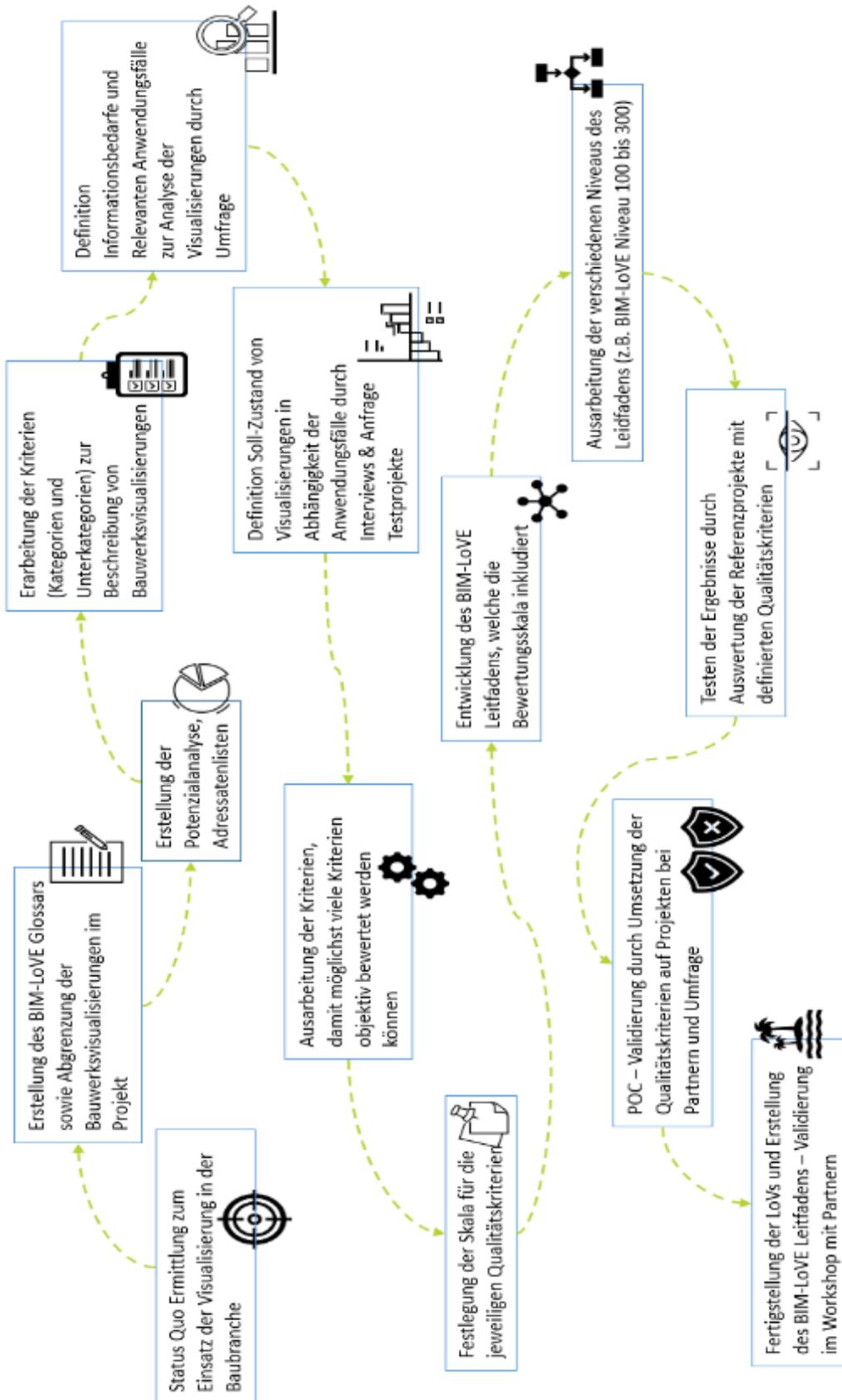


Abbildung 1: Übersicht Vorgehensweise im Projekt (eigene Darstellung)

- Arbeitspakete und Meilensteine

Das Forschungsprojekt wurde in fünf Arbeitspakete unterteilt, die sich auf die fünf Teilfragen stützen.

Das **Arbeitspaket 1 (AP1)** umfasst die Ermittlung des Status quo sowie die Potentialanalyse von Bauwerksvisualisierungen im Bausektor. Dadurch werden relevante Bauwerksvisualisierungsarten identifiziert und beschrieben, Potentiale der Bauwerksvisualisierungen ausgearbeitet und Grundbegriffe zum Thema Bauwerksvisualisierungen erläutert. Diese bilden die Grundlagen für die späteren Analysen im Rahmen des Forschungsprojekts.

Die Identifikation und Beschreibung der branchenüblichen Bauwerksvisualisierungen sowie eine Aufstellung der Zielgruppen kennzeichnet den **Meilenstein 1**. Ziel ist hier die Erstellung eines Katalogs von Bauwerksvisualisierungen sowie einer Adressatenliste inklusive Anwenderspezifikationen.

In **Arbeitspaket 2 (AP2)** werden Anwendungen der Bauwerksvisualisierungen durch Experteninterviews und -workshops identifiziert. Dabei werden Visualisierungsarten den BIM-Anwendungsfällen zugeordnet. Darüber hinaus werden vorhandene LOIN/LOD-Definitionen hinsichtlich potenzieller Synergien für die Erstellung des LoV-Konzepts analysiert. Schließlich werden Qualitätskriterien für Bauwerksvisualisierungen identifiziert und dafür geeignete Bewertungsskalen ermittelt. Für die Vorbereitung der Testphase werden Referenzprojekte und Soft- und Hardwarespezifikationen konkretisiert. **Meilenstein 2** markiert das Ende des zweiten Arbeitspakets. Bei Erreichung des Meilensteins ist eine Liste der bewerteten und priorisierten Qualitätskriterien zur Beschreibung von Bauwerksvisualisierungen erstellt. Darüber hinaus werden die ausgewählten Referenzprojekte aufgelistet.

**Arbeitspaket 3 (AP3)** umfasst die Konzipierung des LoV. Dafür werden die Qualitätskriterien weiter ausgearbeitet, eine Taxonomie der Qualitätskriterien bezogen auf die identifizierten Anforderungen entwickelt und ein Bewertungsschema sowie eine mehrdimensionale Matrix angefertigt. Daraus wird ein Stufenkonzept abgeleitet. **Meilenstein 3** markiert die Fertigstellung des LoV-Konzepts. Das Konzept mit einer mehrdimensionalen Matrix ist zu diesem Zeitpunkt erstellt und beschrieben. Auf Basis der zuvor erlangten Erkenntnisse ist ein angepasstes Stufenkonzept zur qualitativen Beschreibung und Bewertung von Bauwerksvisualisierung entwickelt.

In **Arbeitspaket 4 (AP4)** wird das erstellte Stufenkonzept durch Workshops mit Experten validiert und durch das generierte Feedback angepasst. Das Ziel ist dabei, ein

praxistaugliches Stufenkonzept zu erstellen. **Meilenstein 4** bildet den Abschluss der Validierung durch die Experten.

In **Arbeitspaket 5 (AP5)** wird das validierte Konzept in einen Leitfaden überführt. Zur Gewährleistung der Praxistauglichkeit soll dieser Leitfaden so gestaltet werden, dass er für die relevanten Akteure (öffentliche und private Auftraggeber, Bauunternehmer, Visualisierungsersteller, weitere Lieferanten) verständlich und nutzbar ist. **Meilenstein 5** ist die Fertigstellung des Leitfadens und damit auch des Projekts.

Der zeitliche Verlauf der Arbeitspakete und der Meilensteine ist in Abbildung 2 dargestellt.

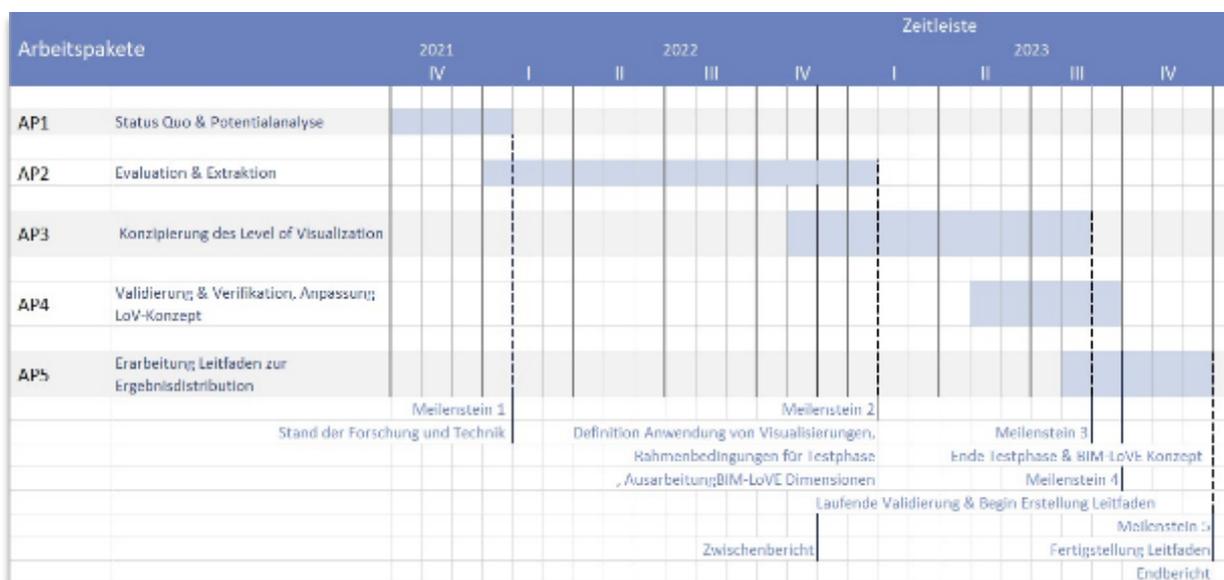


Abbildung 2: Projektterminplan (eigene Darstellung)

- Abgrenzungen in der Arbeit

Die Relevanz der Bauwerksvisualisierungen ist bereits in der Forschung anerkannt, und die Anzahl der Untersuchungen zu dem Thema steigt. Allerdings sind die meisten Untersuchungen nur auf die Anwendbarkeit von ausgewählten Bauwerksvisualisierungen wie VR und AR konzentriert. Es gibt keine Untersuchung, die darauf abzielt, eine flächendeckende Definition von Qualität und ein Stufenkonzept für Bauwerksvisualisierungen zu entwickeln.

## AP1 - Status quo und Potentialanalyse

### Ausgangssituation

Visualisierungen stellen seit geraumer Zeit ein zentrales Instrument der Architektur dar, indem sie Konzepte, Ideen und Planungsprozesse zugänglich für unbeteiligte Dritte sowie direkte Beteiligte eines Projekts veranschaulichen.<sup>8</sup> Analoge Zeichnungen und Skizzen entsprachen über Jahrhunderte dem Stand der Technik bis Computer Aided Design (CAD) Programme zur maßgebenden Methode in der Architektur wurden.<sup>9</sup> Simultan zur voranschreitenden Digitalisierung des Architektorentwurfs etablierten sich diverse digitale Visualisierungsarten. Durch den vermehrten Einsatz der Methode BIM entstehen nun neue, modellbasierte Arten der Visualisierung, die den Grad der Komplexität der Visualisierungserstellung und Visualisierungsbestellung maßgeblich beeinflussen. Basierend auf dreidimensionalen Modellen, die geometrische sowie semantische Informationen über das Bauwerk enthalten, werden über den gesamten Lebenszyklus adressatenspezifische Visualisierungen kreiert und zu einer Vielzahl von Zwecken genutzt.<sup>10</sup> Während so die Komplexität für die am Projekt beteiligten Akteure steigt, entsteht ein zunehmend erkennbares Defizit in der Standardisierung der Qualitätsbeschreibung verschiedener Visualisierungsarten.

Um eine umfassende Definition der vorherrschenden Visualisierungsarten und deren möglichen Qualitätsspektren und Detailtiefen vornehmen zu können, gilt es, in einem ersten Schritt den Stand der Praxis und der Technik darzulegen. Dazu soll untersucht werden, welche Visualisierungsarten, die meiste Anwendung erfahren und wie deren Anwendungsbereiche, Potentiale und Mehrwerte zu beschreiben sind. Zudem soll der Stand der Forschung hinsichtlich bereits bestehender Erkenntnisse in diesem Themenfeld erschlossen werden. Mit diesen Ergebnissen können schließlich die Grundlagen der Bauwerksvisualisierungen definiert werden.

Die Methodik, die zum Erreichen der Ziele des ersten Arbeitspakets einzusetzen ist, setzt sich aus systematischen Literaturrecherchen, Experteninterviews und schließlich

---

<sup>8</sup> Locher et al. (2023), pp. 24–27.

<sup>9</sup> Locher et al. (2023), p. 35.

<sup>10</sup> Scherer / Schapke (2014), p. 505.

Expertenworkshops zur Validierung der Ergebnisse zusammen. Eine genaue Darlegung der Methoden ist Inhalt des folgenden Kapitels.

## Methode

Im ersten Arbeitspaket werden verschiedene Methoden angewendet. In der ersten Phase des Arbeitspakets wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, die den gegenwärtigen Stand der Forschung im Bereich des Einsatzes von Visualisierungen im Bauwesen beleuchtet. Das Ziel hierbei ist, die verschiedenen Visualisierungsarten, die in Bauprojekten genutzt werden, abzuleiten und die Grundlage für die spätere Definition einer Bauwerksvisualisierung zu schaffen. Darauf aufbauend gilt es, in Experteninterviews die Potentiale und Mehrwerte der verschiedenen Arten von Bauwerksvisualisierungen zu ermitteln. Die daraus entstandenen Ergebnisse werden schließlich in einem Expertenworkshop validiert und anschließend durch das Zusammenführen der Ergebnisse der Literaturlauswertung und der Experteninterviews zu einer Definition für Bauwerksvisualisierung weiterentwickelt. Diese Definition wird mithilfe einer quantitativen Umfrage validiert. Die detaillierte Ausführung der hier genannten Methoden wird im Folgenden dargelegt.

Die **Literaturrecherche** zur Grundlagenermittlung wird mittels einschlägiger Datenbanken, unter anderem Google Scholar, Elsevier, ScienceDirect und Research Gate, durchgeführt. Dabei wird sowohl spezifisch zu Bauwerksvisualisierungen als auch branchenübergreifenden Visualisierungen gesucht, um ein umfassendes Gesamtbild der Thematik zu generieren. Nach einer ersten Recherche konnten annähernd 600.000 Ergebnisse erzielt werden, die in einem nächsten Schritt nach Relevanz für dieses Projekt gefiltert wurden. Schließlich wurden 60 Publikationen, darunter Zeitschriftenartikel, Fachbücher und Konferenzartikel, als relevant für das hier betrachtete Forschungsfeld erachtet. Für die Literaturrecherche wurden verschiedene Begriffe und Synonyme verwendet, darunter Bauwerksvisualisierungen, Bauvisualisierungen, Visualisierungen im Allgemeinen sowie die Schlüsselbegriffe Extended Reality (XR), Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Visualization, Construction Visualization und Building Visualization.

Um die Ergebnisse der Recherche zu strukturieren, werden die Publikationen in drei Gruppen von Quellen unterteilt:

**Gruppe A:** Quellen, die sich auf das Thema der Bauwerksvisualisierungen konzentrieren und damit von hoher Relevanz für das Forschungsprojekt sind.

**Gruppe B:** Quellen, die von Relevanz für das Forschungsprojekt sind, jedoch ihren Ursprung in anderen Branchen haben.

**Gruppe C:** Quellen, die nicht dem Thema der Visualisierungen zuzuordnen sind, jedoch weitere relevante Erkenntnisse liefern.

Weiterhin werden die Quellen inhaltlich nach fünf Kategorien tabellarisch ausgewertet. So wird aus jeder der 60 Publikationen extrahiert, welche Mehrwerte von Visualisierungen dort genannt werden, welche Medien die untersuchte Visualisierungsart nutzt, wie die Visualisierung angewendet wurde, welcher finanzielle Aufwand damit verbunden war und wie schließlich die Bedienbarkeit durch die Nutzer bewertet wurde. In der folgenden Auflistung sind die einzelnen Kategorien kurz dargelegt:

- **Medien:** Hard- und Software, die für die Erstellung der Visualisierung genannt wurden
- **Mehrwert:** Positive Aspekte des Einsatzes von Visualisierungen
- **Einsatz der Visualisierung:** Anwendungsfälle der Visualisierung
- **Finanzieller Aufwand:** Investition für die Erstellung der Visualisierung
- **Bedienbarkeit:** Erfahrung der Nutzer und Betrachter

Nach der Extraktion dieser Informationen gilt es Gemeinsamkeiten und Mehrfachnennungen zu identifizieren, die auf Konsens im wissenschaftlichen Diskurs hindeuten und damit den Stand der Forschung beschreiben. Die Auswertung der Literatur ist im **Anhang 1** dargestellt und wird im Kapitel Ergebnisse weiter ausgeführt.

Basierend auf **Experteninterviews** soll nun aufbauend auf der Literaturrecherche eine Potentialanalyse der einzelnen identifizierten Visualisierungsarten durchgeführt werden. Dabei wird ein Vorgehen mit semistrukturierten Leitfadenterviews verfolgt, welches Flexibilität im Interview gewährleistet. Der Fokus liegt hier auf offenen Fragen. Die zu befragenden Experten sollen die diversen Stakeholdergruppen abbilden, worunter Auftraggeber (privat und öffentlich), Bauunternehmer, Planungs- und Architektenbüros, Visualisierungsersteller, Bauberater, Kammern und Verbände zählen. Aus diesen verschiedenen Interessensgruppen werden 13 Experten befragt, wobei sich die Interviewdauer in der Größenordnung von einer halben Stunde bewegt.

Vor dem Hintergrund des Ziels der Potentialanalyse werden die folgenden sieben Fragen für die Interviewführung bestimmt:

1. Was ist Ihre Motivation an dem Projekt mitzuwirken?

2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?
3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Welche Software und Hardware wird dazu genutzt?)
4. Existieren in Ihrem Büro oder bei einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?
5. Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?
6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?
7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

Die Mitschriften der Interviews sind **Anhang 2** zu entnehmen. Zur Auswertung der Ergebnisse ist eine qualitative Inhaltsanalyse durchzuführen, für die im ersten Schritt Kategorien zur Auswertung definiert werden:

- Motivation im Projekt
- Verwendung von Visualisierungen
- Visualisierungsarten
- Visualisierungseingabemedien
- Visualisierungsausgabemedien
- Visualisierungseingabeformat
- Visualisierungsausgabeformat
- Existierende Vorgaben
- Ausschreibungen von Visualisierungen

Basierend auf diesen Kategorien gilt es nun, die Interviews auszuwerten. Das Ergebnis der Auswertung stellt hier eine Tabelle der meistgenannten Antworten auf die jeweiligen Fragen dar, die in Abbildung 3 dargestellt ist. Die vollständige Auswertung ist jedoch **Anhang 3** zu entnehmen.

Kategorie	Genannte Antworten	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	Anzahl	Gesamt	Prozent
Motivation im Projekt	Entwicklung eines Standards (Qualitätsanforderung)			x	x	x	x	x	x				x	7	12	58%
	Interesse an Zusammenarbeit mit anderen			x	x									2	12	17%
	Standardisierte Leistung(-beschreibung)						x	x	x	x			x	5	12	42%
	Relevanz für Abstimmung mit AG	x					x							2	12	17%
	Effizienzsteigerung der geschäftlichen Abläufe		x									x		2	12	17%
Verwendung von Architekturvisualisierungen	Variantenuntersuchung							x						1	12	8%
	Als Grundlage für Projektbesprechungen		x		x	x						x	x	5	12	42%
	Verwendung für Bauanträge		x											1	12	8%
	Öffentlichkeitsarbeit				x									1	12	8%
Visualisierungsarten	Architekturmodell		x			x								2	12	17%
	Photorealistisches Rendering	x	x										x	2	12	17%
	VR									x			x	1	12	8%
	3D-Modelle						x						x	1	12	8%
Visualisierungsmedien - Eingabemedium	Visualisierung aus CAD-Programm/ Modellierungssoftware		x	x						x			x	4	7	57%
	Photoshop		x	x				x					x	4	7	57%
Visualisierungsmedien - Ausgabemedium	Game Engine (Unity/Unreal), Kombination AR/VR			x			x			x			x	4	7	57%
	CDE (Model Viewer)								x					1	7	14%
	Lumion							x						1	7	14%
Visualisierungseingabeformat														0	7	0%
Visualisierungsformate - Ausgabeformat	IFC-Dateien						x			x				2	7	29%
Existierende Vorgaben	Betriebsintern			x	x								x	3	11	27%
	Projektintern (Projektspezifisch)	x	x		x		x	x	x	x			x	8	11	73%
	Betriebsübergreifend													0	11	0%
Mehrwert Visualisierungen	Effizienz der Kommunikation	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	11	12	92%
	Einbindung/Akzeptanz des Nutzers						x	x	x	x	x	x	x	7	12	58%
	Entscheidungsprozesse vereinfachen				x								x	3	12	25%
	Realitätsnahe Darstellung/Besseres Verständnis	x	x		x	x		x	x				x	7	12	58%
Ausschreibungen von Visualisierungsleistungen	Perspektive Auftraggeber													0	12	0%
	Perspektive Auftragnehmer		x	x	x				x					4	12	33%

Abbildung 3: Auswertung Experteninterviews (eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Experteninterviews sind im nächsten Schritt innerhalb eines Expertenworkshops zu validieren. Dazu wird die Auswertung der Interviews den Experten vorgestellt und im Anschluss diskutiert.

Als Fazit der Diskussion stellt sich ein heterogenes Verständnis des Themas der Bauwerksvisualisierungen heraus. Die Problematik des Verständnisses und der Definition von Bauwerksvisualisierungen geht bereits aus der Interviewauswertung hervor, weshalb die Relevanz einer einheitlichen Bauwerksvisualisierung nochmals Bestätigung erfährt. Basierend auf diesem Ergebnis rückt das Ziel der Definition des Begriffs „Bauwerksvisualisierung“ stärker in den Vordergrund und wird im Folgenden anhand einer präziser eingegrenzten Literaturrecherche durchgeführt.

Zunächst erfolgt eine umfassende Literaturrecherche, um die in der Forschung vorherrschenden Definitionen zu identifizieren. Im Anschluss werden auf Basis dieser Erkenntnisse verschiedene Definitionshypothesen formuliert. Diese Hypothesen werden mittels einer Expertenumfrage evaluiert, wobei derselbe Expertenkreis herangezogen wird, der bereits an den zuvor durchgeführten Interviews teilgenommen hat. Die Experten werden aufgefordert, die verschiedenen Definitionshypothesen zu kommentieren und gegebenenfalls zu ergänzen.

Auf Grundlage der Rückmeldungen der Experten wird schließlich eine einheitliche Definition entwickelt. Diese Definition wird in einem Workshop präsentiert und mit den Experten diskutiert. Dieser interaktive Prozess ermöglicht es, einen Konsens über die Definition und die erzielten Ergebnisse zu erlangen. Diese einheitliche Definition bildet nun die Grundlage für die weiteren Arbeitspakete und trägt somit dazu bei, eine einheitliche Terminologie in diesem Forschungsprojekt zu etablieren.

Im Rahmen desselben Workshops werden die Experten durch eine Umfrage dazu aufgefordert, verschiedene Bauwerksvisualisierungen basierend auf ihrer Erfahrung entlang der HOAI-Leistungsphasen zu verorten. Dadurch lässt sich nun ableiten, zu welchem Zeitpunkt es nach Meinung der Experten sinnvoll ist, bestimmte Bauwerksvisualisierungen einzusetzen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der hier dargelegten Methoden ausgeführt.

## Ergebnisse

### Visualisierungsarten

Als Ergebnis der Literaturrecherche ist festzuhalten, dass der monetäre Wert einer Bauwerksvisualisierung vom Kontext und der Art der verwendeten Visualisierung abhängt. Daher ist es unerlässlich, die relevanten Visualisierungsarten zu identifizieren, die dann im Kontext der Entwicklung des Level of Visualization im Vordergrund stehen. Dazu erfolgt zunächst die Unterteilung in analoge und digitale Visualisierungsarten. Im Zuge des architektonischen Entwurfs ist die Handskizze neben dem physischen Architekturmodell eine der traditionellen Formen der analogen Visualisierungsarten. Durch die Digitalisierung und die zunehmende Verfügbarkeit von Visualisierungssoftware entwickeln sich auch die digitalen Visualisierungsarten stetig weiter. Folgende relevante digitale Visualisierungsarten werden hier anhand von Recherche und Interviews identifiziert:

- Architekturmodelle

- 3D-Druck
- Handskizze
- Virtual Reality (VR)
- Augmented Reality (AR)
- 3D-Echtzeitsimulation
- Arbeits- und Koordinationsmodelle
- Renderings
- Fotomontagen
- Animationsfilme
- Bauablaufsimulation

Die hier aufgelisteten Visualisierungsarten sind das Ergebnis aus Literaturrecherche, den Experteninterviews sowie den in den Expertenworkshops durchgeführten Validierungen. Einige Visualisierungsarten werden daher im Laufe des Forschungsprojekts angepasst oder zusammengefasst. Im Folgenden werden die hier betrachteten Visualisierungsarten erläutert.

### **Architekturmodelle**

Ein Architekturmodell entspricht einem plastischen Modell eines Bauwerks in verkleinertem Maßstab zur Veranschaulichung eines geplanten Projekts. Nach *Herbert Stachowiak* besitzen Modelle drei wesentliche Merkmale: das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal. Das Abbildungsmerkmal drückt aus, dass es sich um eine Abbildung von realen oder fiktiven Werken handelt. Da diese Abbildung nicht alle Attribute eines Objektes enthält, wird hier vom Verkürzungsmerkmal gesprochen, welches die Reduzierung auf relevante Parameter meint. Das pragmatische Merkmal steht schließlich für die Funktion des Modells, welche situationsbedingt und zeitgebunden definiert wird.<sup>11</sup> Ein Beispiel für ein Architekturmodell zeigt Abbildung 4.

---

<sup>11</sup> Stachowiak (1973), pp. 131–132.



Abbildung 4: Beispiel Architekturmodell (eigene Darstellung)

### 3D-Druck

3D-Druck ist ein Fertigungsverfahren zur schnellen und, verglichen mit anderen Verfahren, preisgünstigen Herstellung von Modellen, Mustern, Prototypen, Werkzeugen und Endprodukten. Grundlage für den Druck sind dreidimensionale CAD-Modelle. Der 3D-Druck wird als generatives Fertigungsverfahren bezeichnet. Das bedeutet, dass die Fertigung auf der Basis der rechnerinternen Datenmodelle erfolgt. Es gibt verschiedene Verfahren des 3D-Drucks. Alle teilen die Gemeinsamkeit, dass der Druckvorgang in Schichten aufgebaut ist.<sup>12</sup> Der 3D-Druck bietet eine Alternative zum Architekturmodell und lässt ebenfalls eine Eingliederung in diesem Kontext zu. Übersichtlichkeitshalber findet allerdings eine separate Aufzählung an dieser Stelle statt. Zu den gängigen 3D-Druckverfahren zählen<sup>13</sup>:

- 3D-Druck mit Pulver (3DP)
- Selektives Laserintern (SLS)
- Selektives Heat Sintering (SHS)
- Selektives Laserschmelzen (SLM)
- Elektronenstrahlschmelzen (EBM – Electron Beam Melting)
- Fused Deposition Modeling (FDM) / Fused Filament Fabrication (FFF)

---

<sup>12</sup> Fastermann (2014), p. 17.

<sup>13</sup> Fastermann (2014), pp. 25–44.

- Stick Deposition Molding (SDM)
- Multi-Jet Modeling (MJM)
- Stereolithografie (STL / SLA)
- Scan-LED-Verfahren (SLT)
- Film Transfer Imaging (FTI)
- Digital Light Processing (DLP)
- PolyJet
- Laminated Object Modeling (LOM)
- Selective Deposition Lamination (SDL)
- Contour Crafting (CC)

Für die Erstellung der Bauwerksvisualisierungen im Rahmen des Forschungsprojekts wurden FDM- und SLT-Verfahren eingesetzt. Ein Beispielmodell ist in Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5: Beispiele eines 3D-gedruckten Modells (eigene Darstellung)

## Handskizze

Eine Handskizze ist eine manuelle Zeichnung oder Skizze. Sie dient dazu, Ideen, Konzepte oder Entwürfe visuell festzuhalten und zu kommunizieren. (Vgl. Abbildung 6)



Abbildung 6: Empire Riverside Hotel, Hamburg – St. Pauli, Deutschland

## Virtual Reality

Virtuelle Realität ist eine interaktive, computergenerierte Umgebung, die die reale Umgebung vollständig überlagert.<sup>14</sup> Das Eintauchen in die virtuelle Umgebung wird als Immersion bezeichnet, wobei eine Technologie mit steigender Überlagerung der Realität einen steigenden Grad der Immersion aufweist. Um Virtual Reality und das stereoskopische Sehen (Wahrnehmung von räumlicher Tiefe) nutzen zu können, werden spezielle Ein- und Ausgabegeräte benötigt, die eine freie Navigation in Echtzeit ermöglichen. Ausgabemedien für VR sind meist 3D-Powerwalls, Caves oder Head Mounted Displays.<sup>15</sup> In Abbildung 7 ist eine beispielhafte Nutzeransicht aus einer VR-Umgebung dargestellt.

<sup>14</sup> Verein Deutscher Ingenieure (2021).

<sup>15</sup> Brettschneider / Spieker (2017).

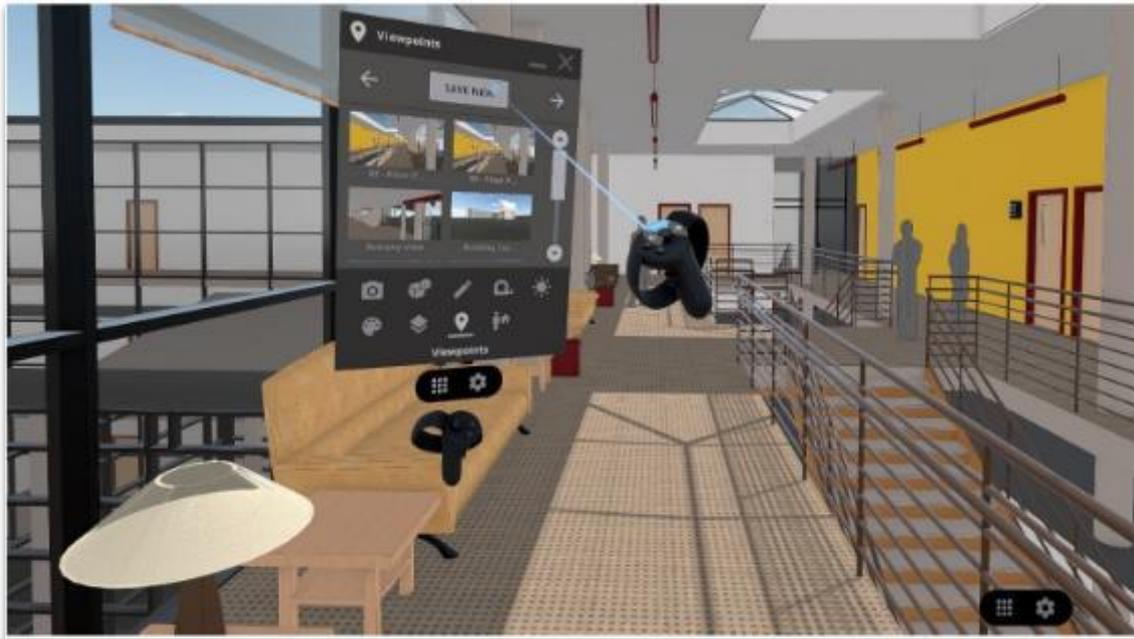


Abbildung 7: Beispiel Virtual Reality (eigene Darstellung)

Bei der Nutzung von Virtual Reality kann in der Baubranche zwischen verschiedenen Anwendungsbereichen unterschieden werden. Häufig genutzt wird VR zur Kommunikation gegenüber Kunden oder der Öffentlichkeit, da das geplante Vorhaben auf diese Weise anschaulicher dargestellt werden kann als durch herkömmliche Pläne und CAD-Zeichnungen. Kunden können immersiv in das geplante Gebäude eintauchen und die gewünschten Räume oder Konstruktionen untersuchen.<sup>16</sup> Im Bereich der Bürgerbeteiligung wird VR eingesetzt, um Veränderungen des Stadt- oder Landschaftsraums und dessen visuelle Auswirkungen auf die Umgebung darzustellen. Nutzer von öffentlichen Bauprojekten können so am Entscheidungsprozess der Planung teilnehmen.<sup>17</sup>

Durch Virtual Reality wird im Allgemeinen ein besseres Verständnis für die räumlichen Zusammenhänge der einzelnen Objekte und deren Design vermittelt, wodurch Entscheidungsprozesse auch unter den Stakeholdern verbessert werden. Daraus ergibt sich zusätzlich zur Kollisionsprüfung im BIM-Modell eine weitere Kontrollstufe.<sup>18</sup>

Während der Bauausführung können mittels immersiver Simulationen potenzielle Probleme im Bauablauf identifiziert und die Logistikplanung verbessert werden, sodass Zeitverzögerungen und Kostenerhöhungen während der Ausführungsphase reduziert

<sup>16</sup> Davila Delgado et al. (2020), p. 3.

<sup>17</sup> Brettschneider / Spieker (2017), pp. 19–20.

<sup>18</sup> Davila Delgado et al. (2020), p. 5.

werden. Abweichungen vom Zeitplan werden frühzeitig erkannt und entsprechenden Maßnahmen eingeleitet.<sup>19</sup>

## Augmented Reality

Augmented Reality ergänzt zu der realen Umgebung einzelne virtuelle Elemente in Echtzeit.<sup>20</sup> Im Bereich AR wird zwischen den Arten „Video-see-through“ und „Optical-see-through“ unterschieden. „Video-see-through“ bedeutet, dass die Umgebung durch eine Kamera (z. B. Smartphone) erfasst wird und so ein Bild der realen Umgebung, ergänzt durch virtuelle Elemente, über ein Display ausgegeben wird. Beim sogenannten „Optical-see-through“ hingegen werden Spezialbrillen benötigt, durch die der Nutzer die Umgebung begutachten kann, während gleichzeitig virtuelle Inhalte direkt auf den Brillengläsern eingeblendet werden.<sup>21</sup> Dargestellt ist der Unterschied der Visualisierungsarten in Abbildung 8.

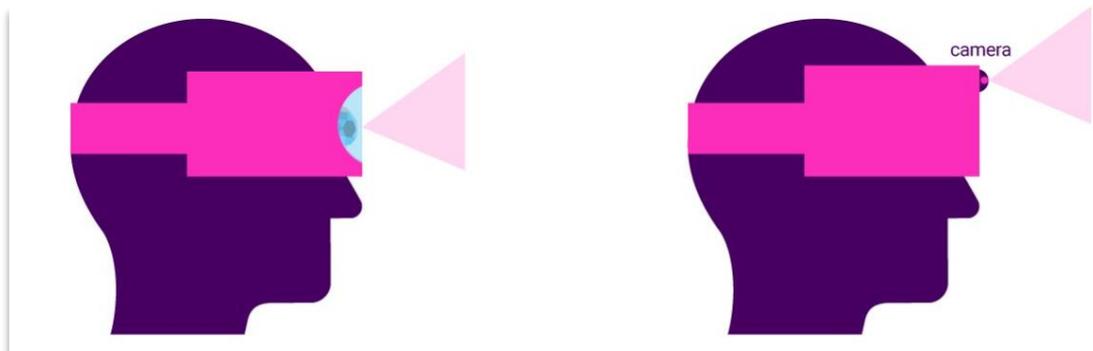


Abbildung 8: Vergleich Video-see-through und Optical-see-through<sup>22</sup>

AR bietet neben der Möglichkeit, geometrische und semantische Informationen in der Realität zu vernetzen, die Chance, Konstruktionen und Bauteile über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zu optimieren. So hilft AR beispielsweise bei der Koordination zwischen Betonierarbeiten und Gebäudetechnik.<sup>23</sup> Bei der Dokumentation des Baufortschritts und bei der Abnahme können mittels Augmented Reality Informationen aus dem BIM-Modell, bezogen auf ein ausgewähltes Bauteil, abgeleitet und zur Erkennung einer korrekten Bauausführung auf einem Smartphone oder Tablet ausgegeben werden.<sup>24</sup> Darüber hinaus können Tragwerksmodelle oder weitere Planungsmodelle mit dem As-built Modell abgeglichen

<sup>19</sup> Davila Delgado et al. (2020), p. 5.

<sup>20</sup> Ma et al. (2023), p. 5.

<sup>21</sup> Ma et al. (2023), p. 7.

<sup>22</sup> Recro | Blog (2019).

<sup>23</sup> Schranz et al. (2020), p. 380.

<sup>24</sup> Schranz et al. (2020), pp. 380–381.

werden. Auch in der Betriebsphase von Gebäuden, insbesondere für Wartungsarbeiten im Facility Management, findet Augmented Reality Einsatz.<sup>25</sup> (Vgl. Abbildung 9)

Abbildung 9: Beispiel Augmented Reality (eigene Darstellung)



### 3D-Echtzeitsimulation

Echtzeitsimulationen bieten für die Anwender die Möglichkeit, ein Bauwerk räumlich zu erleben, indem eine 3D-Umgebung aus den Informationen des BIM-Modells erstellt wird. Noch vor der eigentlichen Bauausführung können so Abläufe und Strukturen dynamisch und mehrfach simuliert werden, um die Entscheidungsfindung hinsichtlich geplanter Ausführungsprozesse zu unterstützen. Echtzeitsimulationen ermöglichen eine individuelle Navigation, wobei die dreidimensionalen Geometrien des Bauwerks aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden können.<sup>26</sup> Die Qualität von Echtzeitsimulationen ist dabei von der Latenzzeit des Systems und von der Bildwiederholungsrate abhängig.<sup>27</sup>

3D-Echtzeitsimulationen erzeugen einen verständlichen Rundgang am Computerbildschirm durch das noch nicht gebaute Gebäude. Echtzeitsimulationen können sowohl an affine als auch an nicht bauaffine Stakeholder adressiert werden. Sie dienen dementsprechend auch zu Präsentations- und Marketingzwecken.<sup>28</sup> Durch das frühzeitige Erkennen von notwendigen Design- oder Konstruktionsänderungen sowie die Reduktion von Bauzeitverzögerungen durch die Bausequenzierung ergeben sich Kosteneinsparpotentiale.

---

<sup>25</sup> Schranz et al. (2020), p. 383.

<sup>26</sup> Schildwächter (2008), p. 1.

<sup>27</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 18.

<sup>28</sup> Schildwächter (2008), p. 6.

## Arbeits- und Koordinationsmodelle

Die verschiedenen Arbeits- und Koordinationsmodelle beinhalten einzelne Modellelemente mit geometrischen, materiellen und funktionalen Eigenschaften, die darüber hinaus mit zeitlichen Abläufen und Kosten verknüpft sein können. Zweck der Fachmodelle ist die Planung und Dokumentation der Erstellung und des Betriebs des Bauwerks. Die Reliabilität der in den Modellen enthaltenen Informationen steigt mit dem zunehmenden Detaillierungsgrad der Modelle. Auf Basis des Koordinationsmodells können Planungsbesprechungen, Konfliktprüfungen sowie Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt werden.<sup>29</sup> Arbeits- und Koordinationsmodelle sind zentraler Bestandteil der BIM-Methode und variieren in der Darstellung basierend auf der genutzten Software.

Arbeits- und Koordinationsmodellen können zur Koordination der Gewerke und zur Fehlervermeidung einige Modellprüfungen durchgeführt werden. Beispiele dafür wären eine allgemeine Plausibilitätsprüfung, eine Qualitätsprüfung, eine inhaltliche Prüfung, eine Mengenkonsistenzprüfung sowie eine 3D-Kollisionsprüfung.<sup>30</sup> (Vgl.

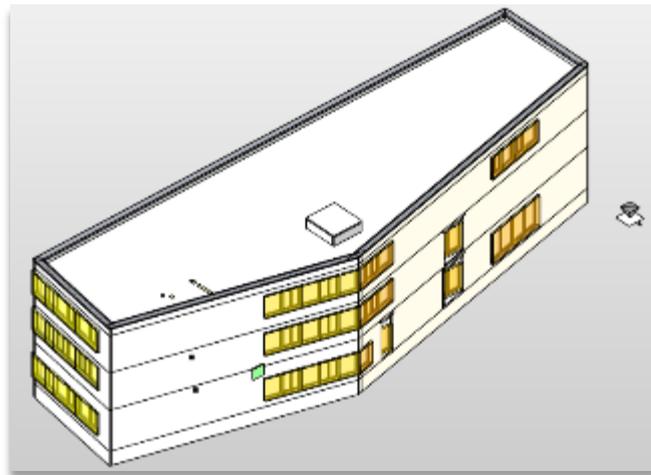


Abbildung 10: Beispiel eines Bürogebäudes (eigene Darstellung)

Abbildung 10)

Insgesamt können Arbeits- und Koordinationsmodelle einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass die Planungsqualität aufgrund der verbesserten Kommunikation und durch die automatisierte Prüfung der Planung steigt. Modellableitungen führen zudem

---

<sup>29</sup> Borrmann et al. (2021), pp. 6-14.

<sup>30</sup> Borrmann et al. (2021), p. 695.

zu einer Erhöhung der Kosten- und Termsicherheit. Auszüge aus den Modellen können auch für Präsentationen genutzt werden.

## Renderings

Renderings sind im Bauwesen als statische Darstellung zu sehen, die einer Fotografie ähneln. Als Synonym für den Begriff Rendering kann der Terminus Bildsynthese verwendet werden. Es bezeichnet die Erstellung einer Visualisierung aus vorhandenen digitalen Daten, wie zum Beispiel CAD-Zeichnungen oder BIM-Modelle im Bereich der Computergrafik.<sup>31</sup> Die Darstellungsmöglichkeiten sind vielfältig und reichen von fotorealistischen Grafiken bis hin zu Sketch-Renderings, die der Optik einer Handskizze ähneln.<sup>32</sup> Für ein Rendering muss ein fester Blickpunkt ausgewählt werden, damit berechnet werden kann, welche Elemente von diesem Standpunkt aus sichtbar sind, und wie die Lichtverteilung und Oberflächen der betrachteten Szene aussehen.<sup>33</sup>

Mithilfe von Renderings können bewusst bestimmte Stimmungen und Atmosphären erzeugt werden. Dies sorgt dafür, dass Renderings für Präsentationen insbesondere in der Entwurfs- und Planungsphase eines Gebäudes eingesetzt werden. Renderings erlauben es, mit wenigen Mausklicks Oberflächen, Texturen oder die Beleuchtungssituationen zu verändern und Störelemente zu identifizieren. Es können Varianten erstellt und verglichen werden, ohne dass ein hoher Zeitaufwand entsteht.



Abbildung 11: Rendering - Böttzow Brauerei, Berlin, Deutschland — Texturiertes Rendering als ‚Modellfoto‘

<sup>31</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 17.

<sup>32</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 31.

<sup>33</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 17.

Renderings bewegen sich dabei an der Grenze zwischen Realität und Virtualität, da sie versuchen, die Virtualität so realistisch wie möglich darzustellen. Dargestellt ist dies in einem Beispiel in Abbildung 11.

Die Vorteile von Renderings liegen aufgrund ihrer weiten Verbreitung in der Praxis besonders in den weitentwickelten Softwarelösungen und Schnittstellen, auf deren Basis aus vorhandenen Daten des BIM-Modells Visualisierungen des Bauwerks erstellt werden. In der Öffentlichkeitsarbeit finden Renderings Anwendung, da sie als Bilddateien für nicht affine Nutzer und Personen zugänglicher sind.<sup>34</sup> Renderings können Entscheidungen im Bauprozess ggf. stark beeinflussen, indem idealisierte Ausschnitte, die nicht exakt der Realität entsprechen, veränderte Lichtverhältnisse oder vereinfachte Umgebungsmodelle den Betrachter emotionalisieren und subjektive Empfindungen auslösen. (Vgl. Abbildung 12)



Abbildung 12: Rendering - Musée des Beaux-Arts, Reims, Frankreich — Umgebungsfoto mit eingesetztem Rendering

## Fotomontage

Die Fotomontage ähnelt als statische Visualisierungsart dem Rendering, basiert jedoch auf vorhandenen Fotografien. Diese werden mit digitalen Objekten zusammengefügt und kreieren dadurch eine neue Bildkomposition. Im Zentrum von Fotomontagen steht die Schaffung von expliziten Atmosphären und Stimmungen, die nicht zwingend den Anspruch verfolgen, der Realität zu entsprechen.<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 43.

<sup>35</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 31.

Auch Fotomontagen werden im Entwurfsprozess eingesetzt. Der Fokus liegt bei Fotomontagen selten auf einem Fotorealismus oder einer hohen Detaillierung. Durch die einfache und kostengünstige Herstellung eignet sich eine Fotomontage stattdessen als Präsentations- und Kommunikationsmittel gegenüber Kunden und der Öffentlichkeit.<sup>36</sup> (Vgl. Abbildung 13)



Abbildung 13: Fotomontage - Spreedreieck, Berlin, Deutschland — Collage aus Umgebungs- und Modellfoto

## Animationsfilme

Bei Animationsfilmen handelt es sich um eine dynamische, nicht interaktive Visualisierungsart, bei der Bewegtbilder aus dem dreidimensionalen, digitalen Bauwerksmodell erstellt werden. Durch eine Verschiebung des Ortes bzw. durch eine Bewegung des Objektes entsteht eine Dynamik, die als Bewegtbildproduktion wahrgenommen wird.<sup>37</sup> Animationsfilme bestehen aus einer sehr schnellen Abfolge von einer hohen Anzahl an Einzelbildern, wobei auch Musik oder andere Geräusche integriert werden können. Sie werden häufig für die virtuelle Darstellung von Gebäuden und Umgebungen verwendet. Dabei wird zwischen einem sogenannten Walk-through, also einem Rundgang durch das Gebäude aus der Ich-Perspektive, und einem Fly-

---

<sup>36</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 32.

<sup>37</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 17.

through, wobei die Kamera aus verschiedenen Perspektiven an das Gebäude heranschwebt, unterschieden.<sup>38</sup>

Ähnlich wie auch die Renderings dienen Animationsfilme in vielen Fällen der Kommunikation gegenüber Kunden, Investoren oder der Öffentlichkeit. So können Kunden über einen festgelegten Pfad das Gebäude erkunden, wodurch auch Fragen bezüglich der Funktion und Nutzung des Gebäudes untersucht werden können.<sup>39</sup>

Der Vorteil von Animationsfilmen liegt darin, dass sie ebenso wie Renderings mit gängiger Software und mit geringem Aufwand auf Basis vorhandener Daten erstellt werden können. Zusätzlich handelt es sich um eine dynamische Visualisierung, die verschiedene Blickpunkte und Perspektiven berücksichtigen kann und gleichzeitig sehr detailliert und realistisch in der Darstellung ist.<sup>40</sup>

### **Bauablaufsimulation**

Die Bauablaufsimulation oder 4D-Bauablaufsimulation (im Englischen oft als Construction Sequencing bezeichnet) beschreibt die Simulation und animierte 3D-Visualisierung des geplanten Bauablaufs. Dabei werden die Elemente eines 3D-Modells der Terminplanung im Projekt zugeordnet, um die Abläufe in Planung und Bauphase abzubilden, zu kontrollieren und effektiv zu steuern.<sup>41</sup> (Vgl. Abbildung 14)

---

<sup>38</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 59.

<sup>39</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 44.

<sup>40</sup> Brettschneider / Spieker (2017), p. 44.

<sup>41</sup> BauNetz (2023).

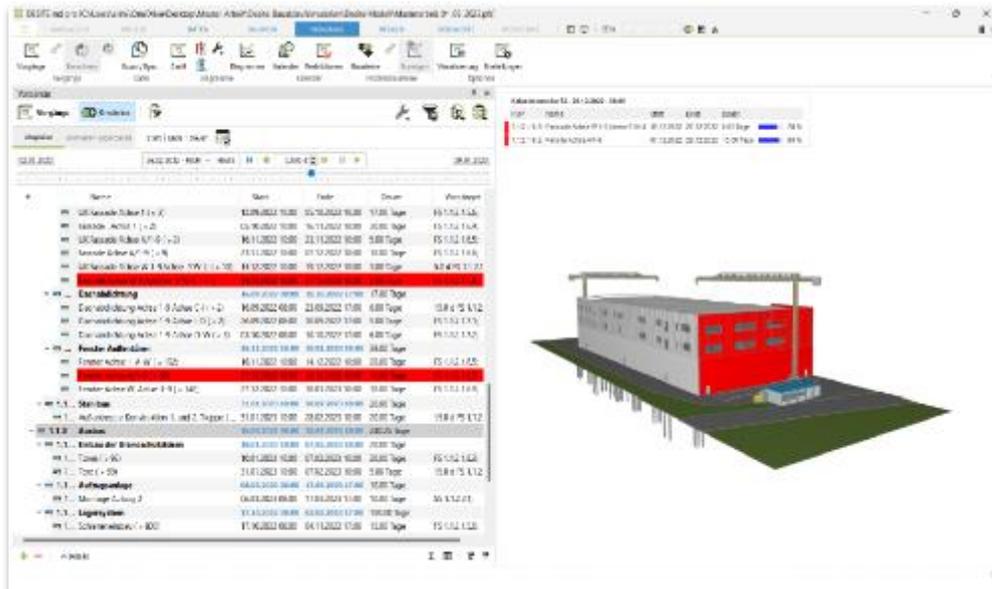


Abbildung 14: Beispiel einer Bauablaufsplanung (eigene Darstellung)

Alle für die Forschungsarbeit relevanten Definitionen zu Bauwerksvisualisierungen, den Visualisierungsarten sowie relevante Begrifflichkeiten befinden sich im angehängten **BIM-LoVe Glossar**.

Da der Fokus des Forschungsprojekts auf digitalen Bauwerksvisualisierungen (auf Grundlagen eines 3D-Modelles) liegt und einige Bauwerksvisualisierungen ähnliche Anforderungen darstellen, wurden folgende Bauwerksvisualisierungen für die weitere Arbeit berücksichtigt:

- 3D-Druck
- Renderings
- Animationsfilm
- Bauablaufsplanung
- Virtual Reality
- Augmented Reality

Status quo branchenüblicher Visualisierungstechniken im Hochbau (Materialien, Soft- & Hardware)

Bauprojekte werden zunehmend komplexer, bedingt durch die wachsende Anzahl der Projektbeteiligten sowie die vielfältigen Anforderungen an Projekt und Objekt. Dies führt zu einem steigenden Aufwand bei der Planung, Umsetzung und dem Betrieb von Bauwerken. Gleichzeitig erfolgt eine Entwicklung der Baubranche hin zu digitalen und innovativen Prozessen und Arbeitsweisen. Eine Manifestation dieser Entwicklung ist der vermehrte Einsatz von Building Information Modeling (BIM).

BIM bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, die auf digitalen Modellen von Bauwerken basiert und relevante Daten über den gesamten Lebenszyklus einheitlich erfasst und verwaltet. Dies ermöglicht eine transparente Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten und macht Informationen für die weitere Bearbeitung nutzbar. Die BIM-Methode bildet den Kern der fortschreitenden Digitalisierung des Bausektors und führt zu neuen Abläufen und Anwendungsfällen in Bauprojekten.

Im Planungs- und Bauprozess stellt die Entscheidungsfindung einen zentralen Vorgang dar. Eine wesentliche Voraussetzung für fundierte Entscheidungen ist ein gemeinsames Verständnis des Sachverhalts und damit des Projekts.

Oftmals mangelt es jedoch an einer einheitlichen Kommunikations- und Diskussionsgrundlage, da die Projektbeteiligten über unterschiedliche Informationsstände verfügen. Bauwerksvisualisierungen dienen dazu, diverse Aspekte des Projekts anschaulich zu präsentieren und das Verständnis zwischen den Beteiligten zu fördern, um eine angemessene Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Die Visualisierung selbst scheint hier Vorteile zu bieten, indem sie die Menge der bereitgestellten Informationen erhöht und den kognitiven sowie intellektuellen Aufwand zur Interpretation der Daten im Kontext der Entscheidungsfindung reduziert.<sup>42</sup> Visualisierungen werden als Werkzeuge für die strukturierte und anwendungsorientierte Darstellung von relevanten Daten und Informationen definiert, die in der Regel für die Feststellung, Kommunikation und Bearbeitung eines Zustands genutzt werden.<sup>43</sup>

Eine beträchtliche Anzahl von Herausforderungen in der Baubranche lässt sich auf Defizite in der Kommunikation und auf Missverständnisse zurückführen.<sup>44</sup> Die Notwendigkeit einer einheitlichen Sprache und eines gemeinsamen Verständnisses gewinnt angesichts zunehmender Projektanforderungen und Herausforderungen an Bedeutung, was die Bedeutung qualitativer Visualisierungen als Instrument der Kommunikation unterstreicht. Die BIM-Methode stellt die Grundlage bereit, um qualitative und anwendungsorientierte Visualisierungen für Projekte zu generieren.

---

<sup>42</sup> Taylor / Francis (2022), p. 13.

<sup>43</sup> Gebhardt (2019), p. 15.

<sup>44</sup> Verein Deutscher Ingenieure (2021), p. 4.

Folglich werden Visualisierungen bereits heute, aber auch zukünftig dazu beitragen, dass die Effektivität und die Produktivität von Bauprojekten steigen.

Aus den Interviews mit den Experten lassen sich folgende Bauwerksvisualisierungen und deren Verwendungen in Tabelle 1 zusammenfassend darstellen:

Tabelle 1: Umfrageergebnis - Bauwerksvisualisierungen und geläufige Projekteinsätze (eigene Darstellung)

Bauwerksvisualisierung	Verwendungen / Einsatz
Handskizze	Variantenuntersuchung
Architekturmodelle	Grundlagen für Projektbesprechungen
3D-Druck	Veranschaulichung in Bauanträgen
Fotomontage	Öffentlichkeitsarbeit
Renderings	Architekturmodell
Virtual Reality (VR)	Fotorealistisches Rendering
Augmented Reality (AR)	VR 3D-Modelle
Echtzeitsimulation	
Bauablaufsimulation	

Weiterhin gehen aus den Interviews zentrale Mehrwerte von Bauwerksvisualisierungen hervor. Als besonders relevant lassen sich dabei die Effizienz der Kommunikation, die Einbindung des Nutzers, die Vereinfachung von Entscheidungsprozessen, die realitätsnahe Darstellungsweise sowie die damit einhergehende Verbesserung des Verständnisses identifizieren. Diese Ergebnisse sind folglich kongruent mit den Ergebnissen der Literaturrecherche und ergänzen diese. Über die Umfrageergebnisse können sowohl betriebsinterne als auch projektspezifische Vorgaben für die Erstellung von Bauwerksvisualisierungen identifiziert werden. Abbildung 15 veranschaulicht die prozentualen Anteile der Nennungen der Mehrwerte in den Interviews.

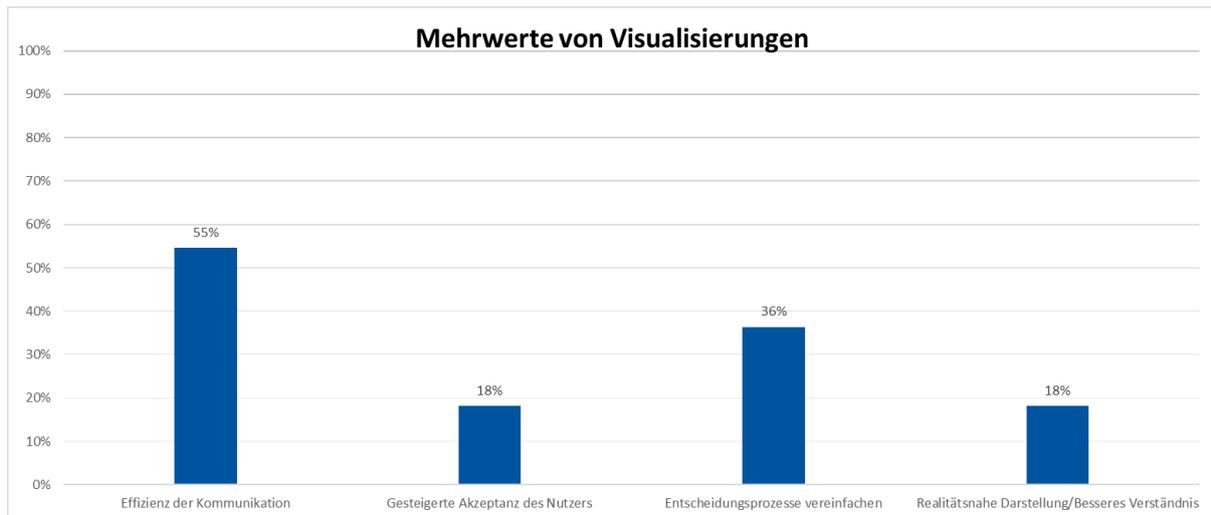


Abbildung 15: Umfrageergebnisse - Mehrwerte von Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung)

Durch die geführten Interviews konnten deutliche Mehrwerte für die Anwendung von Bauwerksvisualisierungen festgestellt werden. Trotz einer zunehmenden Tendenz zur Verwendung von Bauwerksvisualisierungen im Rahmen der BIM-Methode erfolgt ihr Einsatz oft nur eingeschränkt. Zudem führt die mangelnde Festlegung von Standards für die Definition und Beschreibung von Visualisierungen dazu, dass diese nicht einheitlich in Projekten beauftragt und monetär bewertet werden können. Dies stellt eine Hürde für den effizienten Gebrauch von Visualisierungen dar.

### Definition von Bauwerksvisualisierungen

Um das Projektziel der Standardisierung von Visualisierungen zu verfolgen, gilt es folglich im ersten Schritt eine Definition der Bauwerksvisualisierung als Grundlage für die weiteren Arbeitspakete vorzunehmen. Wie bereits im Unterkapitel zur Methode angedeutet, wird eine Literaturrecherche zu bereits vorhandenen Definitionen für Bauwerksvisualisierungen durchgeführt.

Je nach Anwendungskontext heben unterschiedliche Definitionen verschiedene Eigenschaften hervor. *Heer, J. und Bostock* weisen auf die Bedeutung von Visualisierungen als Mittel zur Analyse von Daten und zur Kommunikation hin und betonen, dass sie ein Instrument zur Vereinfachung komplexer Informationen sind.<sup>45</sup> Eine ähnliche Definition formuliert der VDI, der ausführt, dass eine Visualisierung eine „bildliche Darstellung des Bauwerks sowie von Modellinformationen zur

<sup>45</sup> Heer / Bostock (2010), pp. 203–212.

Veranschaulichung und Kommunikation“<sup>46</sup> ist. Im Rahmen seiner Veröffentlichungen zum Wert von Informationsvisualisierungen hebt *Jean-Daniel Fekete* die Visualisierung als ein Instrument zur Analyse von Informationen mithilfe des kognitiven Sinns, des Sehvermögens, hervor. In seiner Definition nimmt die Struktur der Information eine zentrale Rolle ein.<sup>47</sup> Über die hier exemplarisch genannten Definitionen hinaus können Visualisierungen auch anhand des zusätzlichen Nutzens definiert werden, den sie innerhalb eines spezifischen Kontexts bereitstellen.

Den dargestellten Definitionen folgend, basiert die Visualisierung auf einer grafischen Darstellung, die unterstützt, die Komplexität von Prozessen durch geeignete Formen zu reduzieren und eine Grundlage für die Entscheidungsfindung zu schaffen. Eine andere Perspektive wird von *W. Aignera* in seiner Analyse der zeitbezogenen Datenvisualisierung eingenommen. Die Relevanz der Darstellung, des Bezugsrahmens (abstrakt vs. räumlich), des Abstraktionsniveaus, der Zeitabhängigkeit (statisch vs. dynamisch), der Dimensionalität und anderer Kriterien verdeutlicht nach *Aignera* den Einfluss, den Medien und Technologien auf die Wahrnehmung von Visualisierungen haben.<sup>48</sup> Die von *Aignera* durchgeführte Analyse bezieht sich auf eine Auswertung von Studien in heterogenen Branchen wie der Informatik, Innenarchitektur und Business Intelligence, zeigen jedoch ein kohärentes Verständnis für das Thema Visualisierung auf. Eine gültige Definition für Bauwerksvisualisierung könnte aufbauend auf den aufgezeigten Ergebnissen wie folgt formuliert werden:

***Eine Bauwerksvisualisierung ist ein virtuelles oder physisches Bild einer Konstruktion oder eine visuelle Illustration alphanumerischer und/oder geometrischer Bauwerksinformationen auf der Grundlage eines Bauwerksmodells.***

---

<sup>46</sup> Verein Deutscher Ingenieure (2021), pp. 19–20.

<sup>47</sup> Kerren et al. (2008), p. 12.

<sup>48</sup> Aignera et al. (2013), pp. 3–5.

---

## Verortung unterschiedlicher Anwendungen für Bauwerksvisualisierungen in der Wertschöpfungskette

Innerhalb der Expertenworkshops wurde, wie bereits im Unterkapitel zur Methode geschildert, eine Umfrage der Einsatzzeiträume diverser Visualisierungsarten durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abbildung 16 dargestellt und zeigt die Wertschöpfungsstufen Projektidee, Planung, Ausführung und Betrieb. 2D-Skizzen und physische Architekturmodelle werden dabei vor allem zu Beginn der Wertschöpfungskette angeordnet, während Renderings, 3D-Modelle und Simulationen in der Planung und Ausführung, die meiste Anwendung erfahren. Visualisierungen aus dem Bereich der Mixed Reality sind in der Ausführung und dem Betrieb anzuordnen.

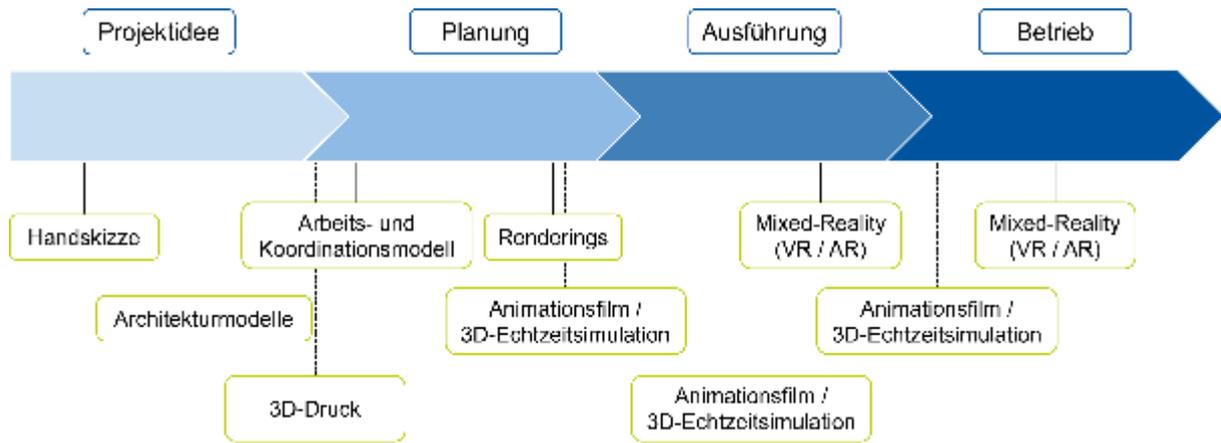


Abbildung 16: Umfrageergebnis - Verortung der Bauwerksvisualisierungen entlang der Wertschöpfungskette

(eigene Darstellung)

Eine ergänzende Onlineumfrage liefert detailliertere Einblicke in der Wahrscheinlichkeit des Einsatzes von verschiedenen Bauwerksvisualisierungen entlang der Leistungsphasen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung 17 dargestellt.

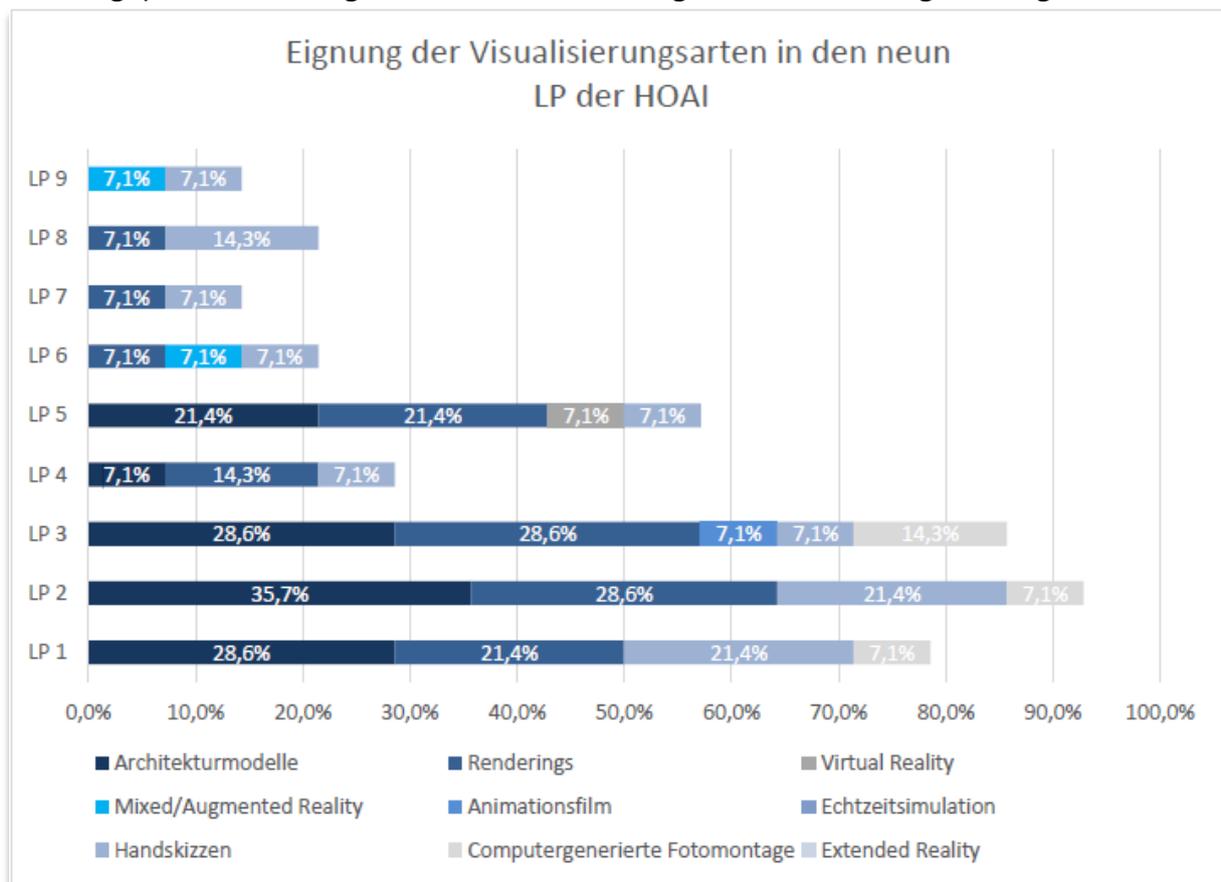


Abbildung 17: Eignung von Visualisierungsarten in den neun Leistungsphasen der HOAI (eigene Darstellung)

Auffallend ist die hohe Einschätzung der Eignung bei Architekturmodellen, Renderings und Handskizzen. Digitale, innovative Visualisierungsarten finden in allen

Leistungsphasen geringe Verwendung. Diese digitalen Visualisierungsarten werden in der Praxis aktuell in geringem Ausmaß angewendet, da Faktoren wie Investitionskosten und Aufwand zum jetzigen Zeitpunkt noch sehr hoch sind. Faktoren wie die Kosten haben daher einen substantiellen Einfluss auf die Auswahl der Visualisierungsart. Zudem wird klar, dass die Teilnehmer die Eignung für die Leistungsphase 4 und die Leistungsphasen 6-9 vergleichsweise gering einschätzen.

#### Anwenderspezifikation und Zielgruppenidentifizierung

Visualisierungen wurden zuvor als Kommunikationsmittel identifiziert. Obwohl der Relevanzgrad visueller Methoden zunächst hoch erscheint, bleibt zu beachten, dass die interpretierte Nachricht entscheidend ist, nicht die ursprünglich versendete. Dies suggeriert, dass der Adressat einer Visualisierung eine wichtige Rolle spielt.<sup>49</sup> Im Großteil der Fälle wählt der Adressat das entsprechende Werkzeug der Bauwerksvisualisierung. Folglich variiert die Qualität der gelieferten Visualisierung in Abhängigkeit der vom Auftraggeber (AG) gestellten Anforderungen. Es ist deshalb unerlässlich, bei der Beurteilung der Qualität von Visualisierungen die Zielgruppe zu identifizieren und die spezifischen Anforderungen der Nutzergruppen zusammenzustellen. Dies wurden im Rahmen des Forschungsprojekts entlang der HOAI-Phasen im Anhang 5: Liste Sender / Empfänger von Visualisierungen nach AHO und HOAI festgelegt.

---

<sup>49</sup> Stemmer et al. (2021).

## AP2 - Evaluation und Extraktion

### Ausgangssituation

Im ersten Arbeitspaket wurde die Teilfrage 1 beantwortet und damit eine grundlegende Definition von Bauwerksvisualisierungen und den relevanten Visualisierungsarten bestimmt. Aufbauend darauf gilt es in Arbeitspaket 2, Anwendungsfälle zu konkretisieren und Qualitätskriterien zu definieren. Zur Definition der Qualitätskriterien sollen zunächst bereits bestehende Konzepte zur Qualitätsdefinition identifiziert und analysiert werden. Dazu werden umfassende Expertenkenntnisse zu verschiedenen Anwendungsszenarien von Bauwerksvisualisierungen herangezogen, sodass Qualitätskriterien aus der Perspektive der Praxis ermittelt werden können.

Visualisierungen fungieren als Mittel zur Informationsdarstellung und -übertragung und variieren ähnlich wie die Kommunikation abhängig vom jeweiligen Kontext und den individuellen Präferenzen der Adressaten. Die Qualität einer Visualisierung hängt folglich sowohl von objektiven als auch von subjektiv wahrgenommenen Faktoren ab.

Aus der empirischen Untersuchung von *Jeffrey Heer und Michael Bostock* (2010) gehen vier Dimensionen von Visualisierungen hervor: **Form** (Eingabe vs. Ausgabe), **Darstellung** (abstrakt vs. räumlich), **Zeitabhängigkeit** (statisch vs. dynamisch) und **Struktur** der visualisierten Information. Das **Medium**, das die Übertragung der Information zwischen Sender und Empfänger ermöglicht, und der **Detaillierungsgrad**, welcher den Informationsgehalt und das Abstraktionsniveau innerhalb der Visualisierung beschreibt, wurden ebenfalls berücksichtigt.<sup>50</sup> Um die Dimension Medium einzugrenzen, sollen Tools für die Erstellung und Überarbeitung von 3D-Modellen, das heißt Autorensoftware, nicht in die Betrachtung einfließen. Die weitere Konkretisierung der Dimensionen ist Ziel dieses Arbeitspakets.

Die Qualität von Bauwerksvisualisierungen ist vom Anwendungsfall und dem umgebenden Kontext abhängig. Anwendungsfälle sind Funktionsmodelle bzw. Teile von Funktionsmodellen eines zu entwickelnden Systems.<sup>51</sup> Anwendungsfälle werden definiert, um die wichtigsten Funktionen eines Systems darzustellen und mit diesen Funktionen ein konkretes Ziel zu erreichen.

---

<sup>50</sup> Heer / Bostock (2010), p. 204.

<sup>51</sup> Kelter (2003), p. 3.

Basierend auf diesen Erkenntnissen soll die Analyse der Bauwerksvisualisierungen und deren Qualitätskriterien anhand diverser Anwendungsszenarien durchgeführt werden. Dabei soll der Fokus auf dem Verhältnis von Aufwand zu angestrebter Qualität, die sich nach dem Verwendungszweck richtet, liegen.

## Methode

Durch die identifizierte Forschungslücke in Bezug auf die Definition und Beschreibung von Bauwerksvisualisierungen wird zur Ausarbeitung von Qualitätskriterien auf Expertenwissen zurückgegriffen. Hierzu wurden Experten des Forschungskonsortiums befragt sowie Expertenbefragungen in Form von Online-Umfragen durchgeführt. Wie in der Ausgangssituation beschrieben, ist ein Ziel dieses Arbeitspakets die Identifizierung von Kriterien zur Bewertung von Bauwerksvisualisierungen. Die methodische Vorgehensweise untergliedert sich dabei in drei aufeinander aufbauende Schritte, die im Folgenden näher erläutert werden.

### Schritt 1: Extraktion der Anwendungsfälle

Im ersten Schritt gilt es, die Anwendungsfälle von Bauwerksvisualisierungen zu untersuchen. Initial werden dazu die Verwendungszwecke und somit Anwendungsfälle von Visualisierungen im Baukontext identifiziert. Hierbei werden die von BIM Deutschland definierten Standardanwendungsfälle als Grundlage genutzt. Gleichzeitig werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu den einzelnen Visualisierungsarten eingebunden, sodass die Liste der standardisierten BIM-Anwendungsfälle auf die für Visualisierungen relevanten Anwendungsfälle reduziert werden kann.

Anschließend gilt es, eine Umfrage mit den Experten des Konsortiums durchzuführen, um zu extrahieren in welchen BIM-Anwendungsfällen Bauwerksvisualisierungen in der Praxis als relevant erachtet werden. Die Umfrage wird mit sieben Teilnehmern im Zeitraum 23.02.2023 bis 09.03.2023 durchgeführt. Die Teilnehmer werden im ersten Teil der Umfrage gebeten, für jeden Anwendungsfall die Relevanz von Visualisierungen anzugeben. Dabei werden keine offenen Fragen gestellt, sondern Antwortmöglichkeiten basierend auf der Likert-Skala gegeben. Die fünf Skalenstufen, das heißt die Antwortmöglichkeiten, sind in Tabelle 2: Bewertungsoptionen der Umfrage dargestellt. Im zweiten Teil der Umfrage gilt es, die Eignung verschiedener Visualisierungsarten in den diversen Anwendungsfällen einzuschätzen. Dazu können die Teilnehmer mehrere Anwendungsfälle den jeweiligen Visualisierungsarten zuordnen. Das Ergebnis ist folglich die Zuordnung der relevanten Visualisierungsarten

zu den einzelnen Anwendungsfällen und stellt damit die Validierung der zuvor erzielten Resultate aus der Literaturrecherche dar.

Tabelle 2: Bewertungsoptionen der Umfrage

Bewertungsoptionen der Umfrage				
Sehr relevant	Eher relevant	Wenig relevant	Gar nicht relevant	Keine Angabe

Die Ergebnisse werden im entsprechenden Unterkapitel genau erläutert.

### Schritt 2: Zweistufige Analyse zur Identifikation und Evaluation der Qualitätskriterien

Im Anschluss an die Extraktion der Anwendungsfälle folgt ein zweistufiger Prozess, in dessen Mittelpunkt eine an Experten gerichtete quantitative Online-Umfrage steht, die eine Laufzeit von 12 Wochen hat. Die Umfrage hat die Relevanz vordefinierter Qualitätskriterien innerhalb der zuvor priorisierten BIM-Anwendungsfälle als Ziel.

- Stufe 1

Als Vorbereitung der Umfrage (Stufe 2) zur Gewichtung der Qualitätskriterien werden in Stufe 1 anhand einer Literaturrecherche relevante Kriterien zur Bewertung der Qualität von Bauwerksvisualisierungen identifiziert. Dazu werden verschiedene Quellen herangezogen und analysiert. Die Stichwörter, die im Zentrum der Suche stehen, lauten Visualisierung, Visualisierungsmerkmale, Architekturvisualisierung, Qualität von Visualisierung, Kriterien von Visualisierung, Ontologie von Visualisierung, Komposition von Visualisierung und Visualisierung mit BIM. Die Suche erfolgt vorwiegend über Plattformen wie Google Scholar, Elsevier und Research Gate. Das Ergebnis der initialen Suche stellen ca. 300.000. Quellen dar, die durch eine erste Filterung mithilfe von zusätzlichen Stichworten auf 150 Quellen reduziert werden können. Hier ist die Vorgehensweise ähnlich zu der in Arbeitspaket 1 beschriebenen Methode, weshalb die Quellen auch hier in drei Gruppen eingeordnet werden:

**Gruppe A:** Quellen, die Kriterien einer Visualisierung beschreiben, die für die Baubranche durchgeführt wurden.

**Gruppe B:** Quellen, die Kriterien einer Visualisierung beschreiben, allerdings in anderen Branchen durchgeführt wurden.

**Gruppe C:** Quellen, die nicht direkt Kriterien behandeln, aber dennoch weitere Einblicke und Perspektiven liefern.

Das Ergebnis stellt eine Liste identifizierter Kriterien dar.

- Stufe 2

Die in Stufe 1 definierten Kriterien sollen in dieser Stufe des Arbeitspakets mithilfe von Experten validiert und weiter konkretisiert werden. Dazu wird eine Online-Umfrage durchgeführt, in der die Relevanz einzelner Kriterien in verschiedenen Anwendungsszenarien abgefragt wird. Zur Konzipierung der Umfrage sind daher die vorab extrahierten Anwendungsfälle zu betrachten und folgende, beispielhafte Anwendungsszenarien abzuleiten:

- Vorstellung von Entwurfsvarianten eines Bürogebäudes beim Auftraggeber
- Vorstellung von Gestaltungsvarianten einer Fabrikhalle beim Endnutzer
- Vorstellung von Entwurfsvarianten bei potenziellen Investoren
- Einbindung der öffentlichen Hand beim Genehmigungsprozess eines Bürogebäudes
- Koordination der Fachplaner beim Neubau eines Museums
- Einsatz von Virtual Reality bei der Bauausführung
- Vorstellung eines Planungsstandes mit unterschiedlicher Bildatmosphäre
- Vorstellung eines Gebäudekonzepts und/oder Machbarkeitsstudien
- Auswahl der darstellbaren Informationen je nach Visualisierungsart
- Einsatz von Augmented Reality für bestimmte Zwecke

Nach einleitenden allgemeinen Fragen zu Tätigkeitsort und Beruf der Teilnehmer, werden Visualisierungsbeispiele auf Basis der definierten Szenarien gegeben, wofür die Teilnehmer die Relevanz der zuvor definierten Kriterien zur Qualitätsbewertung einschätzen sollen. Folgende Einschätzungen werden dabei bei den Teilnehmern gefordert:

- Auswahl und Hierarchie der relevanten Kriterien in Bezug zur Auswahl der Visualisierung
- Relevanz der Kriterien bei den folgenden Szenarien: Bürgerbeteiligung, Wettbewerbsentscheid, Ausstellung auf Messen, Anfang der Entwurfs- und Ausführungsplanung, Bemusterung, Darstellung von alphanumerischen Informationen wie Lärmschutz und Wärmeleitung

Mit dem Ziel der Repräsentativität wurden Experten und Firmen aus verschiedenen Ländern mit Fokus auf der DACH-Region angefragt. Die Befragung wurde mit dem Onlineumfragetool „Jotforms“ durchgeführt, um die Befragung für eine möglichst große Teilnehmergruppe zugänglich zu machen und diese direkt ansprechen zu können. Hierbei wurden Experten aus verschiedenen Bereichen der Planungs- und Baubranchen angesprochen, um möglichst viele Sichtweisen auf das Thema Visualisierung zu inkludieren.

- Die Auswertung der allgemeinen Charakteristika der 34 Teilnehmer ergibt, dass überwiegend Ingenieure und Architekten an der Umfrage teilgenommen haben.
- Weiterhin gehen 76 % der Teilnehmer ihrer Tätigkeit in Deutschland nach. Auch Teilnehmer aus Luxemburg, Schweiz, Rumänien und Österreich haben an der Umfrage teilgenommen.
- Von den Befragten erstellen 53 % selbst Visualisierungen und 47 % von ihnen arbeiten mit Visualisierungen, ohne diese selbst zu erstellen.

Die Ergebnisse der Umfrage sind im Anhang 6: Ergebnisse der Onlineumfrage zur Relevanz der vorläufigen Qualitätskriterien in verschiedenen Anwendungsszenarien detailliert dargestellt.

### Schritt 3: Abschluss des Arbeitspakets und Validierung des aufgestellten Kriterienkatalogs

Nach Durchführung der Expertenbefragungen werden die erforderlichen Erkenntnisse und Resultate extrahiert, um eine initiale Beschreibung der Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen zu erstellen. Die in einer mehrdimensionalen Matrix dargestellten Qualitätskriterien werden im abschließenden Schritt dieses Arbeitspakets durch einen offenen Workshop validiert. Dabei werden Personen einbezogen, die in ihrer Arbeit in unterschiedlichen Kontexten Visualisierungen nutzen, um die Anwendbarkeit des Qualitätskriterienkatalogs zu überprüfen. Bei der Entwicklung des BIM-LoVE Leitfadens ist im Hinblick auf die zukünftigen Anwenderzielgruppen – zu denen sowohl Projektbeteiligte seitens des Auftraggebers als auch des Auftragnehmers gehören – auf eine allgemeine Verständlichkeit zu achten.

## Durchführung und Ergebnisse

Definition der Anwendungen im Kontext der Wertschöpfungskette Bau durch Expertenwissen & -workshops

Der Wert von Informationen und auch von Visualisierungen ist an den Anwendungsfall bzw. an den umgebenden Kontext gebunden. Er hängt davon ab, mit welchem Ziel der Empfänger diese Visualisierung nutzt und wie er sie subjektiv bewertet. Informationen weisen in der Kommunikation und Visualisierung demnach objektive und subjektive Bewertungskriterien auf. In die Beschreibung der Qualität einer Visualisierung sollten diese Aspekte folglich miteinfließen.

Das Ziel der bereits beschriebenen Methodik war, die praktischen Anwendungen der Bauwerksvisualisierungen entlang der Wertschöpfungskette zu definieren. Aufbauend auf der in AP1 erstellten Adressatenliste, wurde daher untersucht, bei welchen Anwendungen die Bauwerksvisualisierungen in einem Bauprojekt eingesetzt werden. Diese wurden mit dem Fokus auf den Einsatz von Bauwerksvisualisierungen bei den jeweiligen Anwendungsfällen gefiltert. Darüber hinaus wurden aus der Praxis (HOAI, AHO, Workshops) weitere Anwendungsfälle definiert und mit den Forschungspartnern abgestimmt.

BIM Deutschland definiert standardmäßig 20 Anwendungsfälle für die Implementierung der BIM-Methode in Projekte. Das sind unter anderem:

Tabelle 3: Liste der Standardanwendungsfälle BIM Deutschland<sup>52</sup>

### **BIM-Anwendungsfälle**

- AWF 010: BESTANDSERFASSUNG UND -MODELLIERUNG
- AWF 020: BEDARFSPLANUNG
- AWF 030: PLANUNGSVARIANTEN / ERSTELLUNG HAUSHALTSBEGRÜNDENDER UNTERLAGEN
- AWF 040: VISUALISIERUNG
- AWF 050: KOORDINATION DER FACHGEWERKE
- AWF 060: QUALITÄTS- UND FORTSCHRITTSKONTROLLE DER PLANUNG
- AWF 070: BEMESSUNG UND NACHWEISFÜHRUNG
- AWF 080: ABLEITUNG VON PLANUNTERLAGEN

<sup>52</sup> BIM Deutschland (2022), pp. 17–19.

## BIM-Anwendungsfälle

- AWF 090: GENEHMIGUNGSPROZESS
- AWF 100: MENGEN- UND KOSTENERMITTLUNG
- AWF 110: LEISTUNGSVERZEICHNIS
- AWF 120: TERMINPLANUNG
- AWF 130: LOGISTIKPLANUNG
- AWF 140: BAUFORTSCHRITTSKONTROLLE UND QUALITÄTSPRÜFUNG
- AWF 150: ÄNDERUNGS- UND NACHTRAGSMANAGEMENT
- AWF 160: ABRECHNUNG VON BAULEISTUNGEN
- AWF 170: ABNAHME- UND MÄNGELMANAGEMENT
- AWF 180: INBETRIEBNAHMEMANAGEMENT
- AWF 190: PROJEKT- UND BAUWERKSDOKUMENTATION
- AWF 200: NUTZUNG FÜR BETRIEB UND ERHALTUNG

Aus dieser Liste werden durch die oben beschriebene Vorgehensweise Anwendungsfälle für das Forschungsprojekt priorisiert. Die Ergebnisse der quantitativen Umfrage sind in der folgenden Abbildung 18 zu sehen. Dort sind die Ergebnisse der Umfrage, speziell der Frage nach der Relevanz von Visualisierungen in den einzelnen Anwendungsfällen, dargestellt. Der Fokus im weiteren Projektverlauf liegt dabei auf den Anwendungsfällen, die von einer hohen Anzahl an Teilnehmern als sehr relevant oder eher relevant beurteilt werden.

Anwendungsfall	Relevanz [%]				
	sehr relevant	eher relevant	weniger relevant	gar nicht relevant	keine Angabe
Bestandserfassung und -modellierung	29%	0%	43%	29%	0%
Bedarfsplanung	14%	43%	29%	14%	0%
Planungsvarianten bzw. Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen	43%	57%	0%	0%	0%
Koordination der Fachgewerke	14%	43%	14%	29%	0%
Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung	14%	29%	43%	14%	0%
Bemessung und Nachweisführung	0%	57%	14%	14%	14%
Ableitung von Planunterlagen	14%	14%	43%	29%	0%
Genehmigungsprozess	14%	57%	14%	14%	0%
Mengen- und Kostenermittlung	29%	0%	29%	43%	0%
Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe	29%	14%	43%	14%	0%
Terminplanung der Ausführung	14%	57%	14%	14%	0%
Logistikplanung	29%	43%	29%	0%	0%
Baufortschrittskontrolle	43%	29%	29%	0%	0%
Änderungs- und Nachtragsmanagement	14%	14%	57%	0%	14%
Abrechnung von Bauleistungen	14%	14%	29%	43%	0%
Abnahme- und Mängelmanagement	14%	14%	29%	29%	14%
Inbetriebnahmemanagement	14%	29%	14%	29%	14%
Projekt- und Bauwerksdokumentation	29%	29%	29%	14%	0%
Betrieb und Erhaltung	14%	29%	14%	29%	14%

Abbildung 18: Ergebnisse Umfrage zur Priorisierung der Anwendungsfälle (eigene Darstellung)

Acht Anwendungsfälle werden basierend auf der Auswertung für die weitere Projektbearbeitung priorisiert. Die ausgewählten Anwendungsfälle setzten sich aus den Anwendungsfällen zusammen, die von mindestens 40 % der Teilnehmer als „sehr relevant“ und/oder „eher relevant“ bewertet wurden. Das Ergebnis ist die folgende Auflistung von Anwendungsfällen, die der Kategorie Priorität 1 entsprechen:

- AWF 020: Bedarfsplanung
- AWF 030: Planungsvarianten bzw. Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen
- AWF 050: Koordination der Fachgewerke
- AWF 070: Bemessung und Nachweisführung
- AWF 090: Genehmigungsprozess
- AWF 120: Terminplanung der Ausführung
- AWF 130: Logistikplanung
- AWF 140: Baufortschrittskontrolle

Die folgenden Anwendungsfälle werden durch die Experten größtenteils mit mittlerer Relevanz

bewertet und sind daher der Priorität 2 zuzuordnen:

- AWF 010: Bestandserfassung und –Modellierung

- AWF 060: Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung
- AWF 100: Mengen- und Kostenermittlung
- AWF 110: Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe
- AWF 180: Inbetriebnahme Management
- AWF 190: Projekt- und Bauwerksdokumentation
- AWF 200: Betrieb und Erhaltung

Basierend auf den Ergebnissen des Arbeitspakets 1 und den aus der Umfrage ermittelten Anwendungsfällen, ist im nächsten Schritt die Zuordnung der Anwendungsfälle zu den dort zu verorteten Visualisierungsarten erfolgt. Die Ergebnisse sind tabellarisch in Tabelle 5 und 6 festgehalten.

In Tabelle 4 sind die Anwendungsfälle der Priorität 1, das heißt der Kategorie sehr relevant bis eher relevant, den dort eingesetzten Visualisierungsarten zugeordnet. Die Zuordnung der Visualisierungsarten erfolgt hier zweistufig. Als erstes werden Visualisierungsarten aus dem ersten Arbeitspaket zugeordnet. Weiterhin können die Experten weitere Vorschläge genutzter Visualisierungsformen ergänzen, was in der dritten Spalte dargestellt ist.

Tabelle 4: Acht Anwendungsfälle der Priorität 1 und die zugehörigen Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung)

Anwendungsfall Priorität 1	Bauwerksvisualisierung	Weitere Visualisierungsformen
Bedarfsplanung	Handskizze, Fotomontage, 3D-Rendering	
Planungsvarianten	3D-Rendering, Animationsfilm, Fotomontage	
Koordination der Fachgewerke	3D-Rendering, 4D-Simulation, Animationsfilm	Arbeitsmodelle (Revit, IFC) / Koordinationsmodelle, VR, AR
Bemessung und Nachweisführung	4D-Simulation, AR, VR, 3D-Rendering	Virtuelles Abbild von Messdaten (Fotogrammetrie, Laserscanning), Arbeitsmodelle / Koordinationsmodelle
Genehmigungsprozess	3D-Rendering, Fotomontage	Animationsfilm, 4D-Simulation

<b>Terminplanung der Ausführung</b>	Animationsfilm, 4D-Simulation, VR, 3D-Rendering,	Koordinationsmodelle
<b>Logistikplanung</b>	Animationsfilm, AR, VR	3D-Rendering
<b>Baufortschrittskontrolle</b>	AR, Animationsfilm, 4D-Simulation, VR	Echtbild / Fotografie

Analog dazu werden auch zu den Anwendungsfällen der Priorität 2 die Visualisierungsarten zugeordnet. Das Ergebnis ist die Tabelle 5.

Tabelle 5: Acht Anwendungsfälle der Priorität 2 und die zugehörigen Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung)

<b>Anwendungsfall Priorität 2</b>	<b>Bauwerksvisualisierung</b>	<b>Weitere Visualisierungsformen</b>
<b>Bestandserfassung und -modellierung</b>	Fotomontage, Animationsfilm, Bauablaufsimulation, VR, Rendering	Echtbild / Fotografie
<b>Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung</b>	AR, Animationsfilm, Rendering, VR	Echtbild / Fotografie
<b>Mengen- und Kostenermittlung</b>	Rendering, Animationsfilm, Bauablaufsimulation, VR	
<b>Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe</b>	Animationsfilm, Bauablaufsimulation, Rendering, VR	
<b>Inbetriebnahme Management</b>	AR, VR, 3D-Rendering	Animationsfilm, Bauablaufsimulation
<b>Projekt- und Bauwerksdokumentation</b>	AR, Animationsfilm, Bauablaufsimulation, VR, Rendering	Arbeitsmodelle (Revit, IFC) / Koordinationsmodelle
<b>Betrieb und Erhaltung</b>	AR, VR	Animationsfilm, Bauablaufsimulation

## Identifizierung vorhandener LOIN/LOD-Definitionen der Baubranche in Bezug auf BIM

Bei der Recherche vorhandener Standards zur Definition von Qualitätskriterien von Visualisierungen wurden LOD-Standards (Level of Development - Detaillierungsgrade) sowie LOIN-Standards (Level of Information Need – Informationsbedarfstiefe) identifiziert.<sup>53</sup> Diese beiden Standards werden herangezogen, um die geometrischen und alphanumerischen Informationen eines Bauwerksmodells zu beschreiben. Das Bauwerksmodell stellt ein digitales Abbild des realen Bauwerks dar, wobei die einzelnen Objekte mit ihren funktionalen und physischen Eigenschaften einzelne Bauteile imitieren. Die grafischen Informationen wie Breiten, Höhen und Längen, aus denen über Flächen und Volumen Körper entstehen, werden durch alphanumerische Informationen ergänzt, wie Informationen zu Material, Kosten, Oberflächenstrukturierung usw. Die Tiefe der Information sowie der Detaillierungsgrad entwickelt sich so über den gesamten Projekthorizont weiter von Planung, über Bau bis hin zur Unterhaltung des Gebäudes. Je mehr Informationen dabei in das Modell mit einfließen, desto besser beschreibt das Modell die Realität. Dabei wird die Entwicklung des Modells mittels Detaillierungsgrad beschrieben, wobei in Level of Development, Level of Geometry (LOG) und Level of Information (LOI) unterschieden wird. Es gilt im allgemein  $LOD = LOG + LOI$ .<sup>54</sup> Dabei beschreibt das Level of Geometry den geometrischen Detailgrad eines BIM-Modells, während das Level of Information den Detailgrad bezüglich semantischer Informationen angibt. Die verschiedenen Ebenen des Level of Development sind im Folgenden dargestellt.

LOD-Definition nach BIM Forum 2020<sup>55</sup> :

- LOD 100: Konzeptionelle Darstellung der Modellelemente ohne entsprechende Attribuierung. Dieser Detaillierungsgrad kann der Vorentwurfsplanung zugeschrieben werden.
- LOD 200: Grobe Darstellung der vorhandenen Geometrie mit Angabe der ungefähren Mengen, Größen, Lage und Orientierung. Dieser Detaillierungsgrad kann der Genehmigungsplanung zugeschrieben werden.

---

<sup>53</sup> Borrmann et al. (2021), p. 165.

<sup>54</sup> Borrmann et al. (2021), p. 170.

<sup>55</sup> Borrmann et al. (2021), pp. 171–172.

- LOD 300: Genaue Darstellung der vorhandenen Geometrie mit Angabe der spezifizierten Mengen, eindeutigen Größen, Lage und Orientierung. Dieser Detaillierungsgrad kann der Genehmigungsplanung zugeschrieben werden.
- LOD 350: Genaue Darstellung der vorhandenen Geometrie mit Angabe der spezifizierten Mengen, eindeutigen Größen, Lage und Orientierung sowie Verbindungen und Anschlüssen zu anderen Modellelementen. Zwischenstufe zur Darstellung von Berührungspunkten zu anderen Fachdisziplinen.
- LOD 400: Genaue Darstellung der vorhandenen Geometrie mit Angabe der spezifizierten Mengen, eindeutigen Größen, Lage und Orientierung inklusive Angaben zu Montage, Installation und Herstellung. Dieser Detaillierungsgrad kann der Ausführungsplanung bzw. Objektüberwachung zugeschrieben werden.
- LOD 500: Darstellung des Ist-Zustandes bezüglich Größe, Aussehen, Lage, Menge und Orientierung inklusive ausführlicher Attribuierung. Dieser Detaillierungsgrad kann der Objektüberwachung bzw. Objektbetreuung zugeschrieben werden

Die für jeden Anwendungsfall, aber auch jede Projektphase benötigten Detaillierungsgrade variieren. So steigt im Laufe des Projekts typischerweise der LOD simultan mit der Konkretisierung der Planung. Je nach Anwendungsfall enthalten bestimmte Bauteile oder Teilmodelle ein höheres Level an Informationen als andere. Die Anforderungen des Modells in Form von LOG und LoL, oder zusammengefasst LOD, werden in den Auftraggeber-Informationen-Anforderungen anwendungsfall- und phasenspezifisch dargestellt.

Um die etablierten Formen der Detaillierungsgrade zweckorientierter abbilden zu können, wurde das LOD zum Level of Information Need (LOIN) weiterentwickelt. Dabei ist das übergeordnete Ziel die Zuordnung des Zwecks zu den benötigten Informationstiefen und die genauere Definition der Art der Dokumentation ebendieser Informationen.<sup>56</sup> Das LOIN wird in der DIN EN 17412-1 definiert und stellt die nächste Evolutionsstufe des LOD dar.<sup>57</sup> Im Laufe eines Projekts wird dabei idealerweise bereits in frühen Phasen (LPH0) der Planung der Informationsbedarf formuliert und über den Projektverlauf hin ergänzt. Für eine jeweilige Informationsbestellung sollten dabei Rahmenbedingungen definiert sein, die das Anwendungsziel, den Zeitpunkt, den

---

<sup>56</sup> Borrmann et al. (2021), p. 24.

<sup>57</sup> Borrmann et al. (2021), p. 24.

---

informationsbereitstellenden Akteur und die Art der benötigten Information, beinhalten. Da sich die Informationen immer auf einen bestimmten Projektbeteiligten beziehen, der die Information bereitstellt, ist eine iterative Weiterentwicklung nach der ersten Abklärung des Informationsbedarfs gefordert. Die Bestimmung der Informationstiefe geschieht dabei größtenteils in drei Dimensionen:<sup>58</sup> (Vgl. Abbildung 19)

- Geometrischen Information (Definition der geometrischen Genauigkeit)
- Alphanumerische Information (Definition des Informationsgehalts)
- Dokumentation (Beschreibung der benötigten Dokumente)

---

<sup>58</sup> Borrmann et al. (2021), p. 24.

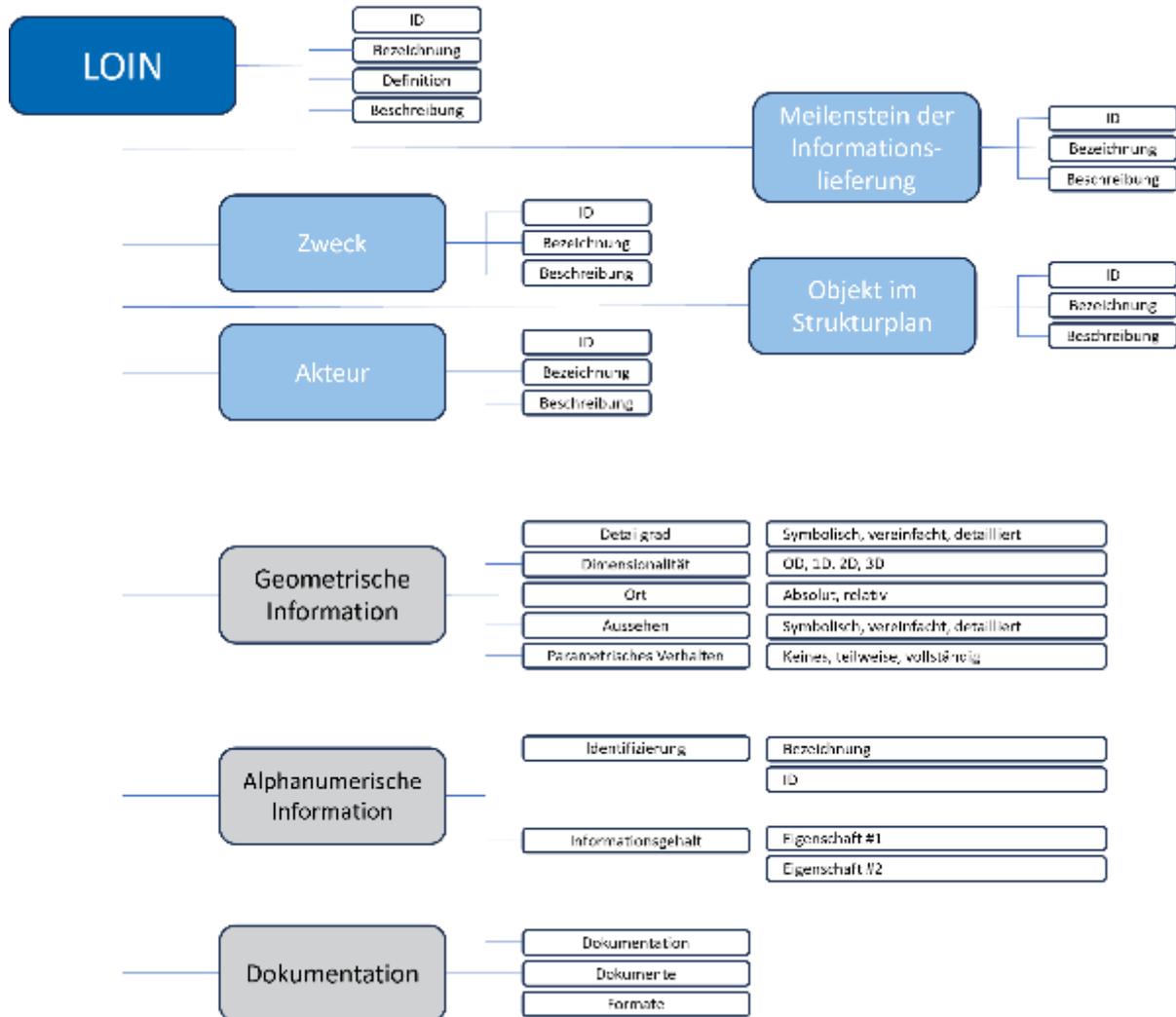


Abbildung 19: Rahmenwerk zur Beschreibung von Level of Information Needs (LOIN) der EN17412<sup>59</sup>

Die erläuterten Standards zur Beschreibung von Detailgraden von BIM-Modellen sollen nun den zuvor identifizierten Dimensionen und Kriterien zur Beschreibung der Qualität von Bauwerksvisualisierungen gegenübergestellt werden. Durch die direkte Gegenüberstellung soll ein analoges Bewertungssystem trotz unterschiedlicher Kriterien gewährleistet und damit die praktische Implementierung vereinfacht werden. Das Ergebnis zeigt Tabelle 6. Eine detaillierte Gegenüberstellung ist Anhang 7: Vergleich LOIN- und LoV-Dimensionen zu entnehmen.

<sup>59</sup> Borrmann et al. (2021), p. 184.

Tabelle 6: Vergleich LOIN zu LoV (eigene Darstellung)

LOIN			BIM-LoVE					
			Dimension - Detaillierung					
Schritt 1: Festlegung Level of Geometry	Betrachtung: Detail	Symbolisch	Kategorie 1: Detaillierungsgrad von Konstruktion / Textur / Farbe + Maßstab	Geringer Detaillierungsgrad	Kategorie 2: Abstraktionsgrad / Glaubwürdigkeit	Glaubwürdigkeit	Gering	
		Vereinfacht		Kleiner Maßstab			Mittel	
		Detailliert / realistisch		Mittlerer Detaillierungsgrad			Hoch	
	Betrachtung: Aussehen	Symbolisch		Mittlerer Maßstab		Kategorie 2: Abstraktionsgrad / Glaubwürdigkeit	Abstraktion	Gering
		Vereinfacht		Hoher Detaillierungsgrad				Mittel
		Detailliert / realistisch		Großer Maßstab				Hoch
LOIN			BIM-LoVE:					
			Dimension - Darstellung					
Schritt 2: Festlegung Level of Information	Geometrische Informationen	Kategorie 3: Sachliche Richtigkeit / Wahrheitsgehalt / Realitätsgrad	Maßstabsgetreue Abbildung	Kategorie 4: Blickwinkel / Sichtweise	Auswahl der Betrachterstandorte / -perspektiven			
	Materialität / Funktionen		Korrekte Formgebung und Größe		Auswahl von Tages- / Jahreszeit			
	Qualitäten		Korrekte Farb- und Materialverwendung		-			
					-			

In der Definition des LOIN erfolgt innerhalb des Level of Geometry die Klassifizierung der Kriterien in die Kategorien „symbolisch“, „vereinfacht“ und „detailliert/realistisch“. Diese Taxonomie ist analog zu den Subkategorien der Darstellung, nämlich „technisch“, „abstrakt“ und „fotorealistisch“, sowie der Detaillierung, die mittels der Stufen „geringer“, „mittlerer“ oder „hoher Detaillierungsgrad“ charakterisiert wird.

Innerhalb des LOIN wird zusätzlich die Erfassung von Details sowie die Beschreibung der äußeren Erscheinung des Modells betrachtet. Diese Aspekte korrelieren mit der Dimension der Darstellung, die die sachliche Richtigkeit, den Wahrheitsgehalt und die Glaubwürdigkeit einschließt.

### Zusammenfassung

Basierend auf den hier ermittelten, bereits bestehenden Kriterien für Level of Geometrie und Level of Information, gegenübergestellt mit den Dimensionen der Qualitätskriterien für Visualisierungen, können erste Anforderungen an die Gestaltung eines Visualisierungsgrads definiert werden.

Der Level of Information Need kann folglich dazu beitragen, Qualitätskriterien für Visualisierungen zu erstellen. Die erforderliche Detaillierung und der benötigte Informationsgehalt einer Visualisierung im spezifischen Anwendungskontext sind daher in ein Konzept für das Level of Visualization einzugliedern. Das LOIN könnte dabei als Instrument dienen, um festzulegen, wie detailliert und umfassend bestimmte Arten von Informationen in Visualisierungen dargestellt werden sollten.

Der Verwendungszeitpunkt und Anwendungsfall einer Visualisierung und die daraus resultierenden visuellen Anforderungen sollen daher zentraler Bestandteil der hier zu entwickelnden Visualisierungslevel sein. Basierend auf den weiteren Untersuchungen in diesem Forschungsprojekt sollen schließlich Empfehlungen zur Erfüllung bestimmter Qualitätskriterien hervorgehen.

#### Identifizierung & Beschreibung von Qualitätskriterien im Hinblick auf Bauwerksvisualisierungen

In Schritt 2 Stufe 1 wurde eine Literaturrecherche zur Vorbereitung der quantitativen Umfrage zur Gewichtung von Qualitätskriterien durchgeführt, deren Ergebnisse wie folgt zusammenzufassen sind.

Es gibt verschiedene Definitionen von Visualisierungen, die je nach Kontext unterschiedliche Aspekte hervorheben. *Heer und Bostock* weisen auf die Bedeutung von Visualisierungen als Mittel zur Analyse von Daten und zur Kommunikation hin und betonen, dass sie ein Mittel zur Vereinfachung komplexer Informationen sind.<sup>60</sup> Auf der anderen Seite stellt *Jean-Daniel Fekete* in seinem Ansatz über den Wert der Informationsvisualisierung die Visualisierung als ein Mittel zur schnellen Analyse von Informationen mit Hilfe des kognitiven Sinns - dem Sehen - dar.<sup>61</sup> Der Schlüsselpunkt in seiner Hypothese ist die Struktur der Information und die Muster darin. Nach dieser Argumentation basiert die Visualisierung auf einer grafischen Darstellung, die dazu beiträgt, die Komplexität von Prozessen durch geeignete Formen zu reduzieren und eine solide Grundlage für die Entscheidungsfindung zu bieten. Eine andere Perspektive wird von *W. Aigner* in seiner Analyse zur zeitbezogenen Datenvisualisierung eingenommen. Die Relevanz der Darstellung, des Bezugsrahmens (abstrakt vs. räumlich), des Abstraktionsniveaus, der Zeitabhängigkeit (statisch vs. dynamisch), der

---

<sup>60</sup> Heer / Bostock (2010).

<sup>61</sup> Kerren et al. (2008).

Dimensionalität und anderer Kriterien verdeutlicht den Einfluss, den Medien und Technologien auf Visualisierungen haben.<sup>62</sup> Die erwähnten Veröffentlichungen stammen zwar aus diversen Bereichen wie Informatik, Indoordesign, oder Business Intelligence, beziehen sie sich jedoch auf ein ähnliches Verständnis des Themas Visualisierung. So können aus diesen Ergebnissen vier Dimensionen zur Definition der Qualität von Bauwerksvisualisierungen abgeleitet werden. Form, Medium, Darstellung und Detaillierung sollen im weiteren Projektverlauf als Rahmen zur weiteren Konkretisierung von Qualitätskriterien dienen. Dargestellt ist dies in Abbildung 20.

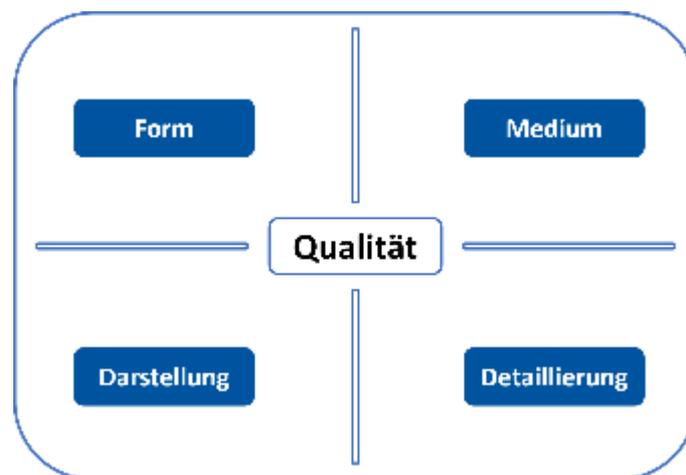


Abbildung 20: Dimensionen von BIM-LoVE (eigene Darstellung)

Die **Form** einer Visualisierung bezieht sich dabei auf die Art und Weise, wie die Visualisierung des Bauwerks konzipiert und präsentiert wird. Das **Medium** kann als Verständigungsmittel oder auch als Transportmittel zwischen dem Sender und dem Empfänger definiert werden. Unter **Darstellung** versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks. Die **Detaillierung** bezieht sich auf die Menge und Art der Informationen, die in der Bauwerksvisualisierung dargestellt werden. Sie umfasst insbesondere die Kriterien des Detaillierungsgrads und des Abstraktionsgrads.<sup>63</sup>

Eine Qualitätsbeschreibung für Bauwerksvisualisierungen erfolgt demnach auf verschiedenen Ebenen. Dabei bilden die vier genannten Dimensionen Form, Medium,

<sup>62</sup> Aignera et al. (2013).

<sup>63</sup> Aignera et al. (2013), pp. 3–5.

Darstellung und Detaillierung den Rahmen und folglich die höchste Ebene. Die Konkretisierung der untergeordneten Ebenen ist das Ergebnis der weiteren Recherche und der darauf aufbauenden Umfrage.

*Seyed Farhad and Yüksel Demir* unterscheiden in ihrer Veröffentlichung „Architectural composition: a systematic method to define a list of visual attributes“<sup>64</sup> zwei verschiedene Kompositionen. Im Forschungsgebiet der Visualisierungen beschreibt der Begriff der Komposition die Elemente der qualitativen Gestaltung einer Visualisierung. Dazu zählen:

- Materialbasierte Kompositionsattribute
- Gebäudebasierte Kompositionsattribute

Des Weiteren existieren Forschungsarbeiten, die nicht nur eine Taxonomie der Attribute für Visualisierungen erstellen, sondern sich auch intensiv mit der Ontologie von Visualisierungen auseinandersetzen. Diese Untersuchungen bieten eine umfassende Perspektive für die Entwicklung von Qualitätskriterien. Diese Kriterien wiederum ermöglichen die Formulierung einer Taxonomie, welche verschiedene Kategorien und Unterkategorien einschließt und diesen jeweils spezifische Dimensionen zuweist. Insbesondere konzentriert sich die Forschungsarbeit von *D. J. Duke, K. W. Brodrie und D. Duce* maßgeblich auf die Ontologie von Visualisierungssystemen und deren Repräsentativität.<sup>65</sup>

Im Kontext der Extended Reality, das heißt Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR), wird die Relevanz der Begriffe der Immersion und Interaktivität betont. In welchem Bezug die Begriffe zueinanderstehen und wie sie in die Bildung von Qualitätskriterien bestimmter Visualisierungsarten einzubinden sind, soll im Folgenden dargelegt werden.

Das 3I-Modell von *Burdea und Coiffet*<sup>66</sup> stellt den Zusammenhang zwischen Interaktion, Immersion und Imagination (Vorstellungsvermögen) her. An dieser Stelle sind die Aspekte Immersion und Interaktion hervorzuheben. Die Interaktivität des Nutzers mit dem VR-System ist von den verwendeten Ein- und Ausgabegeräten abhängig. Mittels der Eingabegeräte kann der Nutzer die virtuelle Welt steuern bzw. verändern und

---

<sup>64</sup> Tayyebi / Demir (2019), p. 141.

<sup>65</sup> Duke et al. (2004), p. 7.

<sup>66</sup> Rademacher (2014), p. 21.

mittels der Ausgabegeräte wird dem Nutzer diese veränderte Welt angezeigt. Eine hohe Interaktivität zwischen Nutzer und System ist zum Beispiel durch eine hohe Menge an Sensoren zu erzeugen, die viele Sinne des Nutzers ansprechen.<sup>67</sup> Die Interaktivität hat zudem Einfluss auf die Immersion. Ist also eine hohe Interaktion mit dem System möglich, fühlen sich die virtuellen Inhalte realer an und erzeugen einen höheren Grad an Immersion.<sup>68</sup> Das Realität-Virtualität-Kontinuum von *Milgram und Kishino*<sup>69</sup>, das in Abbildung 29 dargestellt ist, zeigt die verschiedenen Grade der Immersion im Verhältnis zu den Visualisierungsarten des Extended Reality Spektrums auf. Der Grad der Virtualität korreliert nach *Milgram und Kishino* folglich mit dem Grad der Immersion. (Vgl. Abbildung 21)

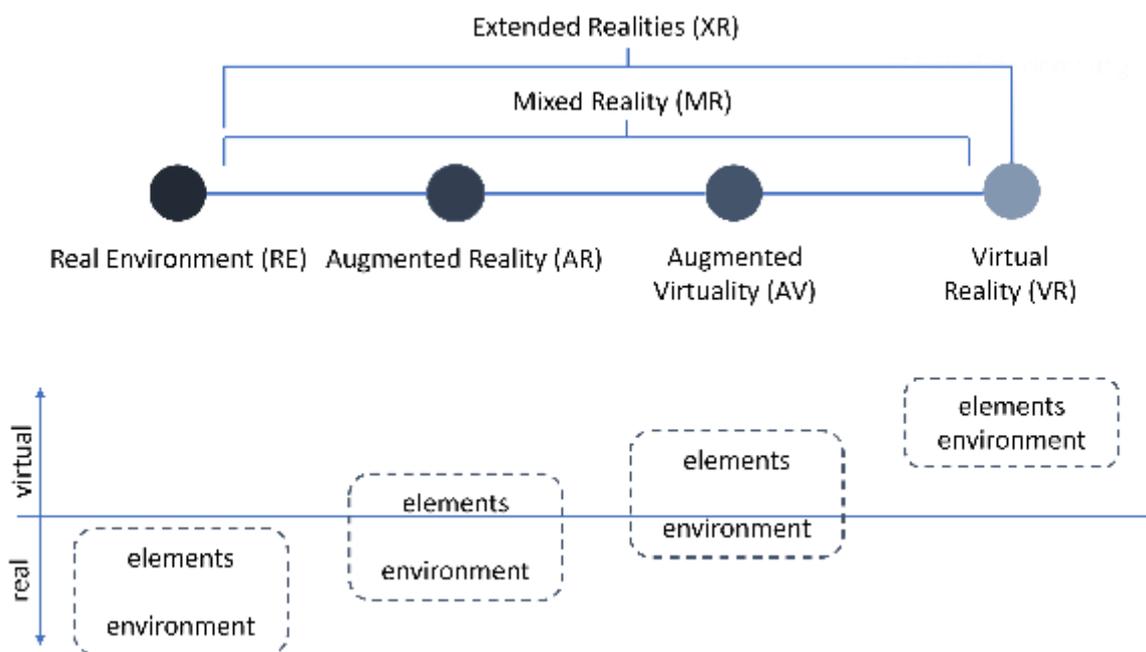


Abbildung 21: Realität-Virtualität-Kontinuum nach *Milgram und Kishino*

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, sollen Visualisierungen die Kommunikation unterstützen und verbessern. Dies wird auch in der oben erwähnten Studie von *Jeffrey Heer und Michael Bostock* bestätigt. Als Kommunikationsmittel unterliegt die Visualisierung dem Einfluss des Empfängers der Information, der Art der Nachricht, aber auch des Kanals, über den diese Nachricht übermittelt wird. Ausgehend von dieser Analogie zwischen Visualisierungen und Kommunikation und den oben genannten

<sup>67</sup> Rademacher (2014), p. 21.

<sup>68</sup> Brill (2009), p. 6.

<sup>69</sup> Schranz et al. (2020), p. 380.

Aspekten besteht die Notwendigkeit, eine Taxonomie zu schaffen, um Visualisierungen besser kategorisieren und beschreiben zu können. Auch andere Parameter können die Wahrnehmung der Visualisierung beeinflussen, wie z. B.: Kontrasteffekte, Darstellungsdichte, Sättigung, Leuchtdichte und Farbton.

Aus diesen Erkenntnissen wurde ein Katalog von vorläufigen Kriterien zusammengestellt, der die Ergebnisse der Literaturrecherche zusammenführt. Die Dimension der Form unterteilt sich dabei in drei Kategorien, wonach eine Visualisierung analog oder haptisch, digital oder virtuell oder immersiv sein kann. Die Dimension Darstellung erfährt eine Untergliederung in vier Kategorien. Die erste Kategorie unterscheidet zwischen statischen, dynamischen und interaktiven Visualisierungen. Kategorie 2, hier als Abstraktionsgrad oder auch Realitätsnähe definiert, beschreibt den Realismus einer Visualisierung. Technisch, fotorealistisch und abstrakt bilden hier die Unterkategorien. In der dritten Kategorie steht der Wahrheitsgehalt im Vordergrund. Zur Bewertung des Wahrheitsgehaltes werden die maßstabsgetreue Abbildung des Objektes, die Korrektheit der Formgebung, die Korrektheit des Materials und der Farbe, die Umgebung des Objektes sowie Schatten- und Lichtverhältnisse beurteilt. Als letzte Kategorie der Dimension Darstellung fungiert die Repräsentativität. Hier stehen die Auswahl der Perspektive des Betrachters, der Tages- oder Jahreszeit und der Blickhöhe im Vordergrund. Die Dimension des Mediums beinhaltet die Kategorien des Ausgabemediums (Material) sowie des Eingabemediums (Herstellmedium). Die vierte Dimension, die der Detaillierung, inkludiert die Kategorie des Detailgrads, in deren Unterkategorien zwischen einem geringen bis hohen Detailgrad unterschieden wird. Die zweite Kategorie innerhalb der Detaillierung begutachtet die visuelle Eindeutigkeit, wozu die Unterkategorie des Inszenierungsgrads zählt. Die folgende Auflistung veranschaulicht die Qualitätskriterien auf drei Ebenen:

- Form (Ausgabeform)
  - Analog/Haptisch
  - Digital/Virtuell
  - Immersiv
- Darstellung:
  - Kategorie 1:
    - Statisch
    - Dynamisch
    - Interaktiv
  - Kategorie 2: Abstraktionsgrad/Realitätsnähe

- Technisch
- Fotorealistisch
- Abstrakt
- Kategorie 3: Sachliche Richtigkeit/Wahrheitsgehalt/Glaubwürdigkeit
  - Maßstabsgetreue Abbildung
  - Korrekte Formgebung und Größe
  - Korrekte Farb- und Materialverwendung
  - Umgebende Objekte darstellen
  - Schatten und Licht darstellen
- Kategorie 4: Repräsentativität
  - Auswahl der Betrachter-Standorte/Perspektiven
  - Auswahl von Tages-/Jahreszeit
  - Auswahl von Blickhöhe
- Medium:
  - Ausgabemedium/Material
  - Eingabemedium/Herstellmedium
- Detaillierung:
  - Kategorie 1: Detaillierungsgrad von Konstruktion/Textur/Farbe + Maßstab
    - Geringer Detaillierungsgrad/kleiner Maßstab
    - Mittlerer Detaillierungsgrad/mittlerer Maßstab
    - Höher Detaillierungsgrad/großer Maßstab
  - Kategorie 2: Visuelle Eindeutigkeit
    - Grad der Inszenierung

Während die zuvor definierten **Dimensionen als erste Ebene** der Qualitätskriterien zu betrachten sind, entsprechen die **Kategorien der zweiten Ebene** und die **Unterkategorien der dritten Ebene** der der Qualitätskriterien.

Qualitative Bewertung und Priorisierung der identifizierten Qualitätskriterien

In den aufgelisteten Qualitätskriterien zeigt sich, dass Aspekte des bauspezifischen Kontexts bei der Identifikation der Kriterien nicht ausreichend berücksichtigt wurden und bei der Ausarbeitung der Qualitätskriterien eingehender betrachtet werden sollten. Dazu soll zudem ermittelt werden, welche Dimensionen und Kriterien in der Praxis zu einer Bewertung der Qualität einer Visualisierung beitragen.

Mit diesem Hintergrund werden die identifizierten Qualitätskriterien den Experten in Form einer Umfrage vorgelegt, um eine erste Bewertung ihrer Praxistauglichkeit zu erhalten. Die erhaltenen Kommentare wurden konsolidiert, um nur die für die Praxis relevanten Qualitätskriterien zu extrahieren. Diese Ergebnisse wurden dann in einem Workshop mit dem Forschungskonsortium diskutiert und die Qualitätskriterien darauf aufbauend priorisiert. Diese erste Priorisierung zielt darauf ab, einen theoretischen Rahmen für die Analyse von Bauwerksvisualisierungen im Kontext der Anwendungsfälle festzulegen und eine ontologische Untersuchung der identifizierten Qualitätskriterien zu ermöglichen. Die Ergebnisse werden in den folgenden Absätzen geschildert.

Die Dimension der Form, die vornehmlich die Konzeption und Präsentation der Visualisierung des Bauwerks betrifft, hat kaum Einfluss auf die Qualität einer Bauwerksvisualisierung. Stattdessen betonen die Experten, dass die Qualität durch den Nutzen einer Bauwerksvisualisierung definiert wird. In dieser Hinsicht könnte ein 3D-Rendering je nach Anwendungsfall oder Situation qualitativ hochwertiger sein als eine Visualisierung mit Virtual Reality (VR). Im Zuge dessen wurde die Dimension Form als beschreibendes Qualitätskriterium klassifiziert.

Ein weiteres beschreibendes Qualitätskriterium ist die Dimension Darstellung. Hierbei werden die Zeitabhängigkeit und Dynamik einer Bauwerksvisualisierung beschrieben. Auch hier kann der Nutzen je nach Anwendungskontext unterschiedlich sein, weshalb von der Art der Darstellung keine direkte Aussage über die Qualität abgeleitet werden kann. Die beschreibenden Qualitätskriterien sind in Abbildung 22 dargestellt.

Beschreibende Qualitätskriterien		
Dimensionen	Kategorisierung	
Form	Digital	
	Immersiv	
	Geometrisch	
Darstellung	Art der Darstellung	Alphanumerisch
		Statisch
	Darstellungsform	Interaktiv

Abbildung 22: Beschreibende Kriterien (eigene Darstellung)

Eine weitere Erkenntnis besteht darin, dass bestimmte Qualitätskriterien als Voraussetzung für die qualitative Bewertung einer Bauwerksvisualisierung fungieren. Dies trifft insbesondere auf die bisher noch nicht betrachteten Kriterien Konsistenz und Maßstäblichkeit zu.

Bauwerksvisualisierungen müssen kohärent und widerspruchsfrei sein, sowohl untereinander als auch mit anderen Datenquellen. Konsistenz und Maßstäblichkeit sind

---

entscheidend für ihre Bewertung als zuverlässige Informations- und Kommunikationsgrundlage für Entscheidungsprozesse.

Weiterhin ist es notwendig zu ermitteln, welche Qualitätskriterien eine subjektive Perspektive abfragen und welche eine objektive Beurteilung ermöglichen. Auch dieses Ergebnis ist Teil der mehrstufigen Iteration mit den Experten, woraus eine Selektion der bewertenden Qualitätskriterien resultiert. Für die Selektion der Kriterien sind zwei Faktoren zentral. Dazu zählen die möglichen Ausprägungsformen der jeweiligen Kriterien sowie die Objektivität oder Subjektivität der Kriterien. Dargestellt ist die Zuordnung der beiden Faktoren in Abbildung 23.

Überblick Qualitätskriterien			
Bewertende Kriterien			
Dimensionen	objektiv		subjektiv
Medium	Kompatibilität		Benutzerfreundlichkeit
	Auflösung		
Darstellung	Realitätsgrad		Atmosphäre
		Formgebung	Szene
		Farb- und Materialverwendung	Nutzung Schatten und Licht
		Kontextualisierung	Komposition
		Realitätsnahe Beleuchtungssituation	Sichtweise   Blickwinkel
Detaillierung	Detaillierungsgrad		Intuitive Orientierung
			Repräsentativität
Beschreibende Kriterien			
Dimensionen	Kategorisierung		
Form	Digital		Analog
	Immersiv		Nicht Immersiv
	Geometrisch		Alphanumerisch
Darstellung	Art der Darstellung		Statisch
			Dynamisch
		Darstellungsform	Interaktiv

Abbildung 23: Übersicht objektive und subjektive Kriterien (eigene Darstellung)

Im nächsten Schritt gilt es, ein Bewertungssystem für die Qualitätskriterien zu definieren. Dabei ist aus vier etablierten Bewertungsschemata zu wählen<sup>70</sup>:

- **Nominalskalen** werden benutzt, um Variablen ohne quantitative Wertung zu kategorisieren (bspw. nach Geschlecht: männlich, weiblich oder divers). Die genannten Variablen weisen keine natürliche Ordnung auf und sind nicht hierarchisierbar. Zudem schließen sich die Kategorien gegenseitig aus, was bedeutet, dass eine Person nicht gleichzeitig verschiedene Merkmale besitzen kann.
- **Ordinalskalen** werden genutzt, um Variablen mit einer natürlichen Reihenfolge zu kategorisieren, wobei die Abstände der einzelnen Stufen nicht quantifizierbar sind. Als Beispiel kann die Relevanz eines Sachverhaltes in verschiedene Stufen

<sup>70</sup> Stevens (1946), pp. 677–680.

unterteilt werden: sehr relevant, relevant, eher relevant, nicht relevant. Die Abstände zwischen den Stufen können nicht numerisch ausgedrückt werden. Diese Skala findet insbesondere in der Gestaltung von Umfragen Anwendung.

- **Intervallskalen** werden eingesetzt, um Variablen mit einer natürlichen Reihenfolge und einem quantifizierbaren und gleichwertigem Abstand zwischen den Stufen zu kategorisieren. Die Intervallskala hat keinen absoluten Nullpunkt. Dabei haben die Variablen eine Reihenfolge und gleichwertige, numerische Abstände, sodass Mittelwert, Median und Modus ermittelbar sind.
- **Ratio- oder Verhältnisskalen** werden zur Kategorisierung von Variablen verwendet, die analog zur Intervallskala eine natürliche Reihenfolge und quantifizierbare Abstände haben, jedoch zusätzlich einen absoluten Nullpunkt aufweisen. Beispiele sind hier Geschwindigkeiten oder Längen.

Für die Umfrage zur Bewertung der Qualitätskriterien wird eine Ordinalskala genutzt, die die Relevanz der ermittelten Qualitätskriterien abfragt. Aus dem Ergebnis der Umfrage ist eine mehrdimensionale Matrix für die Definition der Qualität von Bauwerksvisualisierungen zu entwickeln. Die Matrix und damit die Bewertungsskalen der Qualitätskriterien sind Inhalt der Abbildung 24, wobei die iterative Ausarbeitung der jeweiligen Skalenstufen im Folgenden konkretisiert wird.

Bewertende Qualitätskriterien					
Dimensionen	Kategorie	Unterkategorie	Bewertungsskala		
Medium	Benutzerfreundlichkeit		Hoch	Mittel	Gering
	Kompatibilität		Hoch	Mittel	Gering
	Auflösung		Hoch	Mittel	Gering
Darstellung	Atmosphäre				
		Szene	Hoch	Mittel	Gering
		Nutzung Schatten und Licht	Hoch	Mittel	Gering
		Komposition	ansprechend	teilweise ansprechend	nicht ansprechend
	Realitätsgrad		realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Formgebung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Farb- und Materialverwendung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Kontextualisierung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Realitätsnahe Beleuchtungssituation	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	Sichtweise   Blickwinkel				
	Intuitive Orientierung	leicht	mittel	schwer	
	Repräsentativität	zweckmäßig	teilweise zweckmäßig	unzweckmäßig	
Detaillierung					
	Detaillierungsgrad		detailliert	vereinfacht	symbolisch

Abbildung 24: Übersicht der bewertenden Kriterien inkl. Skala (eigene Darstellung)

Für die Identifikation geeigneter Skalen zur Bewertung der einzelnen Kriterien wird eine Literaturrecherche durchgeführt, die den Stand der Forschung zu dem Thema der Bewertung von Visualisierungen untersuchen soll. Das Ergebnis ist, wie bereits in Arbeitspaket 1 angedeutet, der Mangel an existierenden Forschungsprojekten zu diesem Thema. Da das Institut für Psychologie der RWTH Aachen jedoch Analysen im Bereich der Visualisierungsgrade durchführt, wird in einem gemeinsamen Workshop diese fachfremde, jedoch auf Visualisierungen spezialisierte Expertise zur Überprüfung der bisher aufgestellten Skalen genutzt. Dabei wird die dreistufige Bewertungsskala bestätigt, die Ausprägung der Stufen jedoch angepasst. So können folgende Herausforderungen identifiziert werden:

- Das Qualitätskriterium Komposition kann nicht zwischen Hoch, Mittel und Gering unterteilt werden.

- Qualitätskriterium Realitätsgrad kann nicht zwischen Hoch, Mittel und Gering unterteilt werden.
- Qualitätskriterium Sichtweise kann nicht zwischen Hoch, Mittel und Gering unterteilt werden.

Darauf basierend werden die Skalen dieser drei Kriterien angepasst. Das Kriterium der Komposition wird daher in die Stufen ansprechend, teilweise ansprechend und nicht ansprechend unterteilt, während für den Realitätsgrad die drei Stufen realitätstreu, realitätsnah und symbolisch definiert werden. Die Sichtweise wird weiter in die intuitive Orientierung und die Repräsentativität aufgeteilt und adäquatere Bewertungsskalen für diese Kriterien definiert (siehe Abbildung 24).

Bei einem Workshop mit den Forschungspartnern, wurde der obige Vorschlag der Bewertungsskalen ausgearbeitet, welche dann im Rahmen von Arbeitspaket 3 weiter erprobt werden.

Diese Ergebnisse sind im Anhang 8: Ergebnisse Workshop zur Auswahl der vorläufigen Kriterien als Tabelle dargestellt. Für ein besseres Verständnis der einzelnen Dimensionen, Kategorien und Unterkategorien sind die Definitionen der genutzten Begrifflichkeiten der Qualitätskriterien aufgelistet. Das Dokument ist in Anhang 9: Definition der Qualitätskriterien zu finden.

#### Auswahl geeigneter Referenzprojekte

Die Auswahl passender Referenzprojekte ermöglicht es, Bauwerksvisualisierungen in verschiedenen Kontexten und unter unterschiedlichen Projektbedingungen zu betrachten. Dies dient dazu, die Erprobung der Kriterien möglichst vielseitig zu gestalten. Dazu werden verschiedene Projekttypen ausgewählt. Das Ziel ist es, für die einzelnen Projekttypen mehrere Beispielprojekte auszuwählen.

Folgende Projekttypen werden ausgewählt:

- Krankenhausprojekte (oder Industrie- / Produktionshalle)
- Bürogebäude / Supermarkt
- Stadtquartier / Infrastrukturprojekt
- Schule / soziale Einrichtung

#### Spezifikation notwendiger Soft- und Hardware je Anwendung

Um einen Leitfaden für Bauwerksvisualisierungen zu erstellen, ist es neben der Definition der einzelnen Visualisierungsarten wichtig, den Status quo im Bereich Soft-

und Hardware zu beschreiben. In einer ausführlichen Liste wurden marktübliche Soft- und Hardware zusammengetragen, welche explizit zur Herstellung von unterschiedlichen Visualisierungen genutzt werden. Zu jeder Software wurden zusätzlich die Mindestanforderungen an den Prozessor, an die Grafikkarte, an den RAM-Speicher und an die Bildschirmauflösung aufgelistet. Insgesamt gibt es 36 verschiedene Software zur Herstellung von Visualisierung. Für die 3D-Modellierung gibt es 8 Softwarehersteller, für die Gestaltung von Renderings und Animationsfilmen weitere 3 Hersteller. Im Bereich Virtual Reality und Augmented Reality gibt es weitere 18 Softwareprodukte, die allerdings jeweils nur mit einer zusätzlichen Hardware, wie beispielsweise Smartphones oder VR-Brillen funktionieren (vgl. Soft- und Hardwareliste).

Ein Level of Visualization sollte zwar in Bezug auf die Software neutral sein, dennoch ist der Einfluss der genutzten Software nicht zu vernachlässigen. Daher wird ein Querschnitt der auf dem Markt angebotenen Softwareprodukte erstellt. Das Ziel dabei ist die Untersuchung der zum jetzigen Stand der Technik erzielbaren Qualitäten. Betrachtet wurden dabei Softwareprodukte, die die BIM-basierte Visualisierungserstellung ermöglichen. Eine Liste der identifizierten Software wurde im Anhang 10: beigefügt.

## AP3 - Konzipierung des Level of Visualization

### Ausgangssituation

Im zweiten Arbeitspaket wurde eine Bewertungsskala für die Qualitätskriterien von Bauwerksvisualisierungen entwickelt. Zusätzliche Parameter wie etwa die relevanten Anwendungsfälle für die Analyse von Bauwerksvisualisierungen wurden untersucht. Ebenso wurde eine Zuordnung der verschiedenen Arten von Bauwerksvisualisierungen zu den relevanten Anwendungsfällen durchgeführt. Die Auswahl der Projektarten bildete dabei eine wesentliche Grundlage für die Überprüfung der Qualitätskriterien und ihren Wirkbeziehungen untereinander.

Die Entwicklung des LoV-Konzepts entspricht der Überführung einer stichprobenartigen Untersuchung zur Bewertung einzelner Visualisierungen in ein generalisiertes Bewertungskonzept. Die Generalisierung wird nach *Robinson et al.* in vier Typen unterteilt: Vereinfachung, Klassifizierung, Symbolisierung und Induktion.<sup>71</sup> Die Symbolisierung wird dabei in zwei wesentliche Komponenten aufgeteilt. Visuelle Variablen und die Wahl der Messungsgrade sind somit Teil der Symbolisierung.<sup>72</sup> Wird dieser Ansatz auf Bauwerksvisualisierungen übertragen, entsprechen die visuellen Variablen den zuvor definierten Qualitätskriterien. Zwar wurden bereits Bewertungsskalen für einzelne Kriterien aufgestellt, die numerische Bewertung und Überführung in eine Gesamtbewertung je Visualisierungsart und Anwendungsfall ist jedoch Inhalt des Arbeitspakets 3.

In dieser Phase werden die bislang erarbeiteten Qualitätskriterien weiter präzisiert. Insbesondere die subjektiven Qualitätskriterien sollen in möglichst objektiv beurteilbare Kriterien überführt werden. Die erneute Strukturierung der Qualitätskriterien erfährt dann eine Erprobung im Rahmen von Workshops und einer Online-Umfrage. Schließlich sollen die Qualitätskriterien und das dazugehörige Bewertungsschema in realen Projekten evaluiert werden.

---

<sup>71</sup> Røed (1997), pp. 3–19.

<sup>72</sup> Røed (1997), p. 6.

## Methode

Zur Ermittlung der Anwendbarkeit sowie der Gewichtung der Qualitätskriterien wird ein Workshop und nachfolgend eine Onlineumfrage durchgeführt.

Der Workshop hat das Ziel, die Verständlichkeit und Anwendung der zuvor definierten Qualitätskriterien zu analysieren und zu testen. Dadurch sollen unterschiedliche Visualisierungsarten nach den zuvor definierten Qualitätskriterien und -skalen bewertet werden. Dies dient einer allgemeinen Bewertung der Visualisierungsarten. Wie bereits mehrfach betont, ist die Bewertung im Kontext einzelner Anwendungsfälle essenziell, da der Nutzen einer Visualisierung in Abhängigkeit von der Verwendungsabsicht variiert. Dazu wird im nächsten Schritt eine Onlineumfrage durchgeführt, die die Bewertung und Gewichtung der Qualitätskriterien im Kontext konkreter Anwendungsfälle untersucht.

### Methode 1: Workshop

- Workshopsvorbereitung

Es wird ein Workshop mit Teilnehmern aus der Bauwirtschaft initiiert, wobei ein Großteil der Teilnehmer begrenzte Erfahrung mit Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen hat und daher insbesondere den intuitiven Umgang und die Nutzerfreundlichkeit von verschiedenen Visualisierungsarten bewerten soll.

Eines der zentralen Ziele des Workshops ist somit die Erprobung der Verständlichkeit und Anwendbarkeit der Visualisierungen und ebenso ihrer Qualitätskriterien. Da sich die Anwendergruppe des LoV-Konzepts aus diversen Stakeholdern eines Bauprojekts zusammensetzt, die unterschiedliche Affinitäten gegenüber dem Umgang mit diversen Visualisierungstechniken haben, ist auch die Erprobung der Qualitätskriterien mit einer heterogenen Gruppe vorgesehen. Das Konzept des Workshops und dessen Auswertung ist in Abbildung 25 dargestellt. Zunächst werden im Workshop an sechs Stationen verschiedene Visualisierungsarten dargestellt, die von den Teilnehmern mittels eines Onlinetools nach den in AP2 definierten Bewertungsskalen bewertet werden sollen. Darauf aufbauend wird die Anwendbarkeit der Qualitätskriterien sowie

der Bewertungsskalen geprüft. Schließlich werden die Ergebnisse in das LoV-Konzept integriert.



Abbildung 25: Kerndaten zum Workshop (eigene Darstellung)

An den sechs Visualisierungsstationen sind insgesamt sechs verschiedene Visualisierungsarten anhand mehrerer Projektbeispiele dargestellt. Die sechs im Workshop erprobten Visualisierungsarten sind:

- 3D-Druck
- VR
- Animationsfilm
- Bauablaufsimulation
- AR
- Rendering

Die Auswahl dieser Visualisierungsarten basiert auf den in Arbeitspaket 2 identifizierten Visualisierungsarten. Aus der dort ermittelten Liste relevanter Visualisierungsarten werden diejenigen mit den meisten Nennungen in Experteninterviews und -workshops gefiltert. Gleichzeitig gilt es, die Abbildbarkeit anhand der Referenzprojekte zu prüfen. Aufgrund beider Kriterien werden Koordinationsmodelle als Visualisierungsart ausgeschlossen, ebenso Fotomontagen und Bilder aus 3D-Modellen. Insbesondere letztere sind aufgrund der Ähnlichkeiten in der Erstellung zu 3D-Renderings zu bewerten und somit auch indirekt durch die Bewertung dieser berücksichtigt.

Animationsfilme und 3D-Echtzeitsimulationen sind ebenfalls als gleichbedeutend zu sehen und gehen daher nur in der Form des Animationsfilms in die weitere Betrachtung ein.

Neben den Visualisierungsarten gilt es, die Qualitätskriterien und Bewertungsskalen aus Arbeitspaket 2 zu betrachten, die - wie zuvor definiert - in die Umfrage eingegangen sind. Folglich haben die Teilnehmer drei Auswahlmöglichkeiten pro Kriterium, die einer hohen, mittleren und niedrigen Bewertung entsprechen.

Aufgrund der Heterogenität der zur Verfügung gestellten Visualisierungen der Referenzprojekte werden lediglich einzelne Visualisierungen innerhalb einer Station miteinander verglichen, jedoch nicht stationsübergreifend. Im folgenden Abschnitt sind die im Workshop verwendeten Visualisierungsbeispiele dargestellt. Dabei ist die Station 1 der 3D-Druck (Abbildung 26), in Station 2 wird Virtual Reality anhand eines virtuellen Rundgangs erprobt (Abbildung 27), Station 3 ist der Animationsfilm (Abbildung 28), Station 4 nutzt Augmented Reality (Abbildung 29), Station 5 3D-Renderings (Abbildung 30) und Station 6 zeigt Bauablaufsimulationen (Abbildung 31).

#### Station 1: 3D-Druck



Abbildung 26: 3D-Druck Beispielmodelle (eigene Darstellung)

#### Station 2: VR

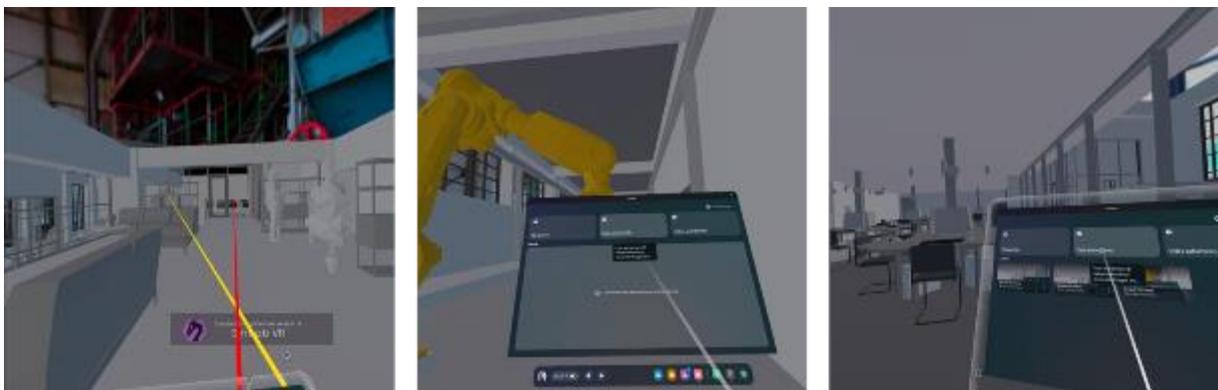


Abbildung 27: Beispiel VR-Projekt (eigene Darstellung)

### Station 3: Animationsfilm



Abbildung 28: Beispiel Animationsfilm (eigene Darstellung)

### Station 4: AR



Abbildung 29: Beispiel AR-Projekt (eigene Darstellung)

## Station 5: 3D-Renderings



Abbildung 30: Beispiel Rendering (eigene Darstellung)

## Station 6: Bauablaufsimulation

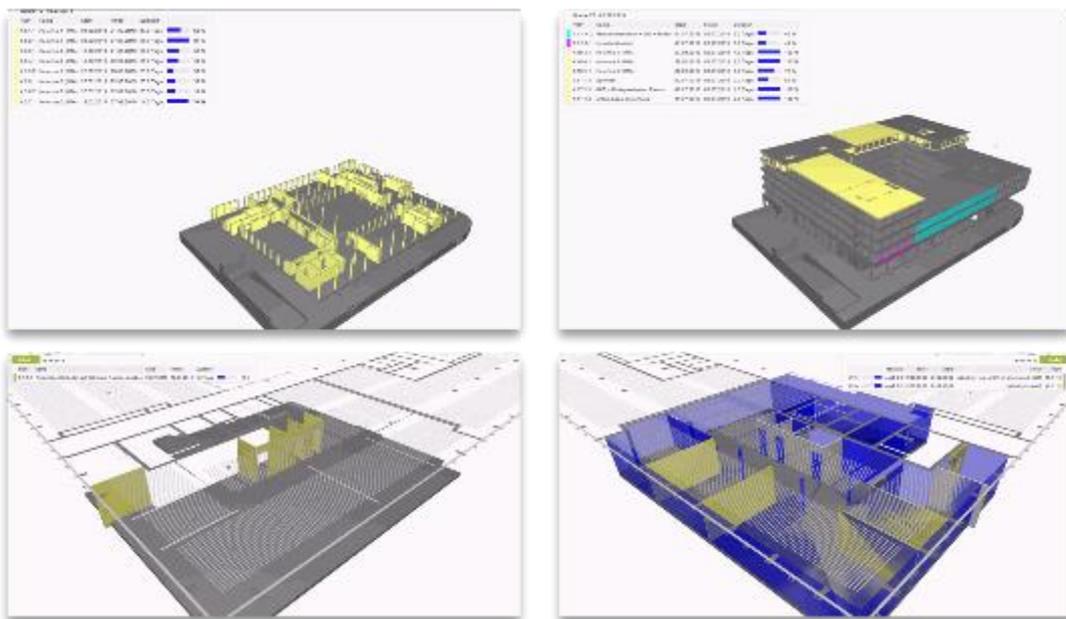


Abbildung 31: Beispiel Bauablaufsimulation (eigene Darstellung)

Der Zugang zum Onlinetool zur Bewertung wird über einen QR-Code abgebildet, der den Teilnehmern zu Beginn des Workshops zur Verfügung gestellt wird.

Für jede Station sind dort die Qualitätskriterien hinterlegt. Jede Visualisierungsart kann somit ausgewählt und durch die Teilnehmer nach den Qualitätskriterien bewertet werden.

Abbildung 32: Bewertungsschema im Onlinetool (eigene Darstellung)

werden. (Vgl. Abbildung 32)

Durch die Gestaltung des Umfragetools besteht die Möglichkeit, die erhobenen Daten als strukturierte Tabelle und separat die Freitext-Bewertungen zu exportieren.

- Workshopdurchführung

Die Teilnehmerzahl des Workshops beträgt 25 Personen, wovon der Großteil Studierende der RWTH Aachen aus den Bereichen Architektur und Bauingenieurwesen sind. Zu Beginn des Workshops steht eine kurze Vorstellung des Forschungsprojekts



Abbildung 33: Eindrücke aus der Durchführung des Workshops (eigene Darstellung)

und aller relevanten Informationen für die Durchführung der Qualitätsbewertung. Eindrücke des Workshops sind in Abbildung 33 abgebildet.

- Bewertung der Ergebnisse

Im Anschluss an den Workshop gilt es, die Ergebnisse quantitativ auszuwerten. Für jede Visualisierungsart wird somit jedes Qualitätskriterium und die durchschnittlichen Bewertungen der Teilnehmer (bspw. hoch, mittel, gering) dargestellt. Fragmentarisch ist in Abbildung 34 die Bewertung der Visualisierungsart des Animationsfilms dargestellt. Die Benutzerfreundlichkeit wurde hier von 19 Teilnehmern als hoch bewertet. Auch die Auflösung und Kompatibilität wurden größtenteils als hoch eingestuft.

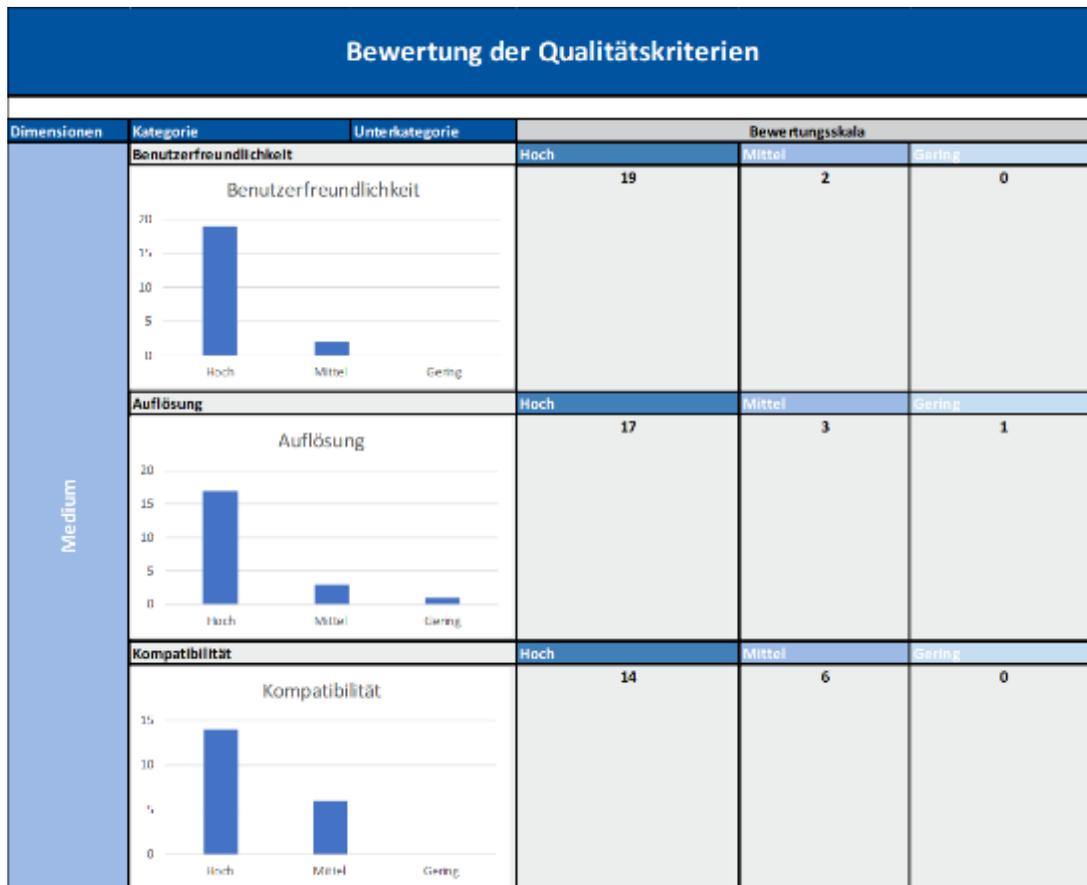


Abbildung 34: Auswertung der Station Animationsfilm (eigene Darstellung)

Um eine quantitative Auswertung des Workshops zu ermöglichen, werden im ersten Schritt die prozentualen Anteile der abgegebenen Bewertungen (hoch, mittel, niedrig) errechnet. Diese sind in den folgenden zwei Abbildungen für jedes Kriterium und jede Visualisierungsart aufgeführt, wobei Abbildung 35 die Werte für 3D-Druck, Animationsfilm und AR zeigt, während Abbildung 36 die Auswertungen für die

Bauablaufsimulation, Rendering und VR enthält. Mit den prozentualen Anteilen der abgegebenen Bewertungen können dann die durchschnittlichen Punktzahlen der Qualitätskriterien ermittelt werden. Die entsprechenden Werte der Abbildungen beruhen auf folgender Gleichung:

$$\bar{\varnothing} - Punkte = Anteil_{Hoch} * 5P. + Anteil_{Mittel} * 3P. + Anteil_{Niedrig} * 1P.$$

Um visuell zu kennzeichnen, wie die Visualisierungsarten insgesamt durchschnittlich bewertet wurden, wird eine Farbskala eingeführt, die die maximale Punktzahl 5 dunkelgrün und die minimale Punktzahl 1 dunkelorange markiert. Zwischen den fest definierten Stufen erfolgt eine farbliche Abstufung.

	3D-Druck				Animationsfilm				AR			
	Hoch [%]	Mittel [%]	Niedrig [%]	Ø - P.	Hoch [%]	Mittel [%]	Niedrig [%]	Ø - P.	Hoch [%]	Mittel [%]	Niedrig [%]	Ø - P.
Benutzerfreundlichkeit	61,11	27,78	11,11	4,00	90,48	9,52	0,00	4,81	42,86	42,86	14,29	3,57
Auflösung	33,33	38,89	27,78	3,11	80,95	14,29	4,76	4,52	23,81	42,86	33,33	2,81
Kompatibilität	35,29	29,41	35,29	3,00	70,00	30,00	0,00	4,40	20,00	75,00	5,00	3,30
Darstellungsform	22,22	0,00	77,78	1,89	9,52	85,71	4,76	3,09	85,71	14,29	0,00	4,71
Szene (Ablenkung)	0,00	29,41	70,59	1,59	18,18	31,82	50,00	2,36	42,86	33,33	23,81	3,38
Nutzung Schatten und Licht	17,65	5,88	76,47	1,82	76,19	23,81	0,00	4,52	23,81	38,10	38,10	2,71
Komposition	38,89	55,56	5,56	3,67	72,73	22,73	4,55	4,36	38,10	57,14	4,76	3,67
Formgebung	16,67	83,33	0,00	3,33	71,43	19,05	9,52	4,24	33,33	38,10	28,57	3,10
Farb- und Materialwahl	5,56	5,56	88,89	1,33	61,90	23,81	14,29	3,95	15,00	25,00	60,00	2,10
Kontextualisierung	23,53	47,06	29,41	2,88	66,67	23,81	9,52	4,14	47,37	31,58	21,05	3,53
Sichtweise	82,35	5,88	11,76	4,41	66,67	19,05	14,29	4,05	50,00	40,00	10,00	3,80
Detaillierungsgrad	26,32	52,63	21,05	3,11	77,27	22,73	0,00	4,55	10,00	60,00	30,00	2,60

Abbildung 35: Workshopergebnisse 3D-Druck, Animationsfilm und AR (eigene Darstellung)

	Bauablaufsimulation				Rendering				VR			
	Hoch [%]	Mittel [%]	Niedrig [%]	Ø - P.	Hoch [%]	Mittel [%]	Niedrig [%]	Ø - P.	Hoch [%]	Mittel [%]	Niedrig [%]	Ø - P.
Benutzerfreundlichkeit	47,37	21,05	31,58	3,32	63,64	18,18	18,18	3,91	66,67	33,33	0,00	4,33
Auflösung	27,78	27,78	44,44	2,67	59,09	40,91	0,00	4,18	33,33	33,33	33,33	3,00
Kompatibilität	42,11	47,37	10,53	3,63	40,91	45,45	13,64	3,55	38,89	55,56	5,56	3,67
Darstellungsform	5,26	89,47	5,26	3,00	9,09	0,00	90,91	1,36	88,89	5,56	5,56	4,67
Szene (Ablenkung)	5,26	26,32	68,42	1,74	4,55	45,45	50,00	2,09	27,78	33,33	38,89	2,78
Nutzung Schatten und Licht	0,00	21,05	78,95	1,42	81,82	13,64	4,55	4,55	27,78	27,78	44,44	2,67
Komposition	26,32	42,11	31,58	2,90	45,45	40,91	13,64	3,64	44,44	50,00	5,56	3,78
Formgebung	10,53	63,16	26,32	2,68	63,64	36,36	0,00	4,27	16,67	50,00	33,33	2,67
Farb- und Materialwahl	0,00	15,79	84,21	1,32	45,45	45,45	9,09	3,73	11,11	27,78	61,11	2,00
Kontextualisierung	21,05	26,32	52,63	2,37	36,36	54,55	9,09	3,55	22,22	44,44	33,33	2,78
Sichtweise	66,67	22,22	11,11	4,11	61,90	33,33	4,76	4,14	55,56	38,89	5,56	4,00
Detaillierungsgrad	31,58	47,37	21,05	3,21	68,18	31,82	0,00	4,36	27,78	50,00	22,22	3,11

Abbildung 36: Workshopergebnisse Bauablaufsimulation, Rendering und VR (eigene Darstellung)

Durch diese Auswertung wurde aus den Ergebnissen ermittelt, wie gut bei jeder Visualisierungsart die verschiedene Qualitätskriterien repräsentiert sind. Die Farbkodierung repräsentiert die Rangfolgen in den kumulierten Ergebnissen nach der obigen Formel. Die Bewertung lässt sich zwischen „sehr hohe Bewertung“ (dunkelgrün) bis „sehr niedrige Bewertung“ (dunkelrot) differenzieren. Es ist ersichtlich, dass je nach Visualisierung, Qualitätskriterien sehr unterschiedlich wahrgenommen und als wichtig betrachtet werden. Dies bestätigt der Ansatz der Entwicklung eines anwendungsfall- und visualisierungsspezifischen LoV-

Stufenkonzepts. Die Auswertungen des Workshops sind ausführlich in Anhang 11: Auswertung Präsenzworkshop dargestellt.

### Methode 2: Onlineumfrage

Nach der Bewertung der Visualisierungsarten anhand der zuvor definierten Qualitätskriterien und Bewertungsskalen ist das Ziel der Onlineumfrage, die Gewichtung der Qualitätskriterien in unterschiedlichen Anwendungsfällen zu ermitteln.

- Vorbereitung und Durchführung der Onlineumfrage

Die Anwendungsfälle, die in der Onlineumfrage untersucht werden, entsprechen den Anwendungsfällen, die in Arbeitspaket 2 identifiziert und der Priorität 1 zugeordnet wurden. (Siehe Tabelle 4) Den Anwendungsfällen wurden dort zudem die dort genutzten Visualisierungsarten zugeordnet. Diese Zuordnung stellt die Grundlage der hier abgefragten Szenarien dar. Das Vorgehen der Priorisierung und anschließenden Zuordnung ist im Kapitel zu Arbeitspaket 2 nachzulesen.

Das Konzept der Umfrage ist, dass die Teilnehmer zu jedem der priorisierten Anwendungsfälle und den dazugehörigen Visualisierungsarten die Qualitätskriterien der Relevanz nach ordnen sollen. Dazu sollen sie die Qualitätskriterien in die für sie richtige Reihenfolge bringen.

- Auswertung der Onlineumfrage

Die Onlineumfrage wird für einen Zeitraum von insgesamt sechs Wochen freigeschaltet und von zwölf Teilnehmern durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse hat quantitativen Charakter und verfolgt das Ziel der Ermittlung einer anwendungsfallspezifischen Rangfolge der Qualitätskriterien.

Das zur Auswertung entwickelte Scoring-System ordnet den acht möglichen Plätzen in der Rangfolge Punkte zu, damit die von den Teilnehmern zugeordneten Positionen quantitativ abbildbar und auswertbar sind. Platz 1 entspricht hier 80 Punkten, während Platz 8 10 Punkten gleichkommt. Die weiteren Punkteschritte sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Scoring-System (eigene Darstellung)

Platz	Punkte
1	80
2	70
3	60
4	50
5	40
6	30
7	20
8	10

Basierend auf dem Scoring-System können den einzelnen Qualitätskriterien absolute Werte in Form der Summen der vergebenen Rangfolgen zugeschrieben werden. Dieses Vorgehen ist beispielhaft für den Anwendungsfall 030 und die Visualisierungsart Rendering in Abbildung 37 dargestellt. Die tabellarische Auswertung aller Anwendungsfälle und Visualisierungsarten ist Anhang 12: Auswertung der Onlineumfrage zur Ermittlung der Rangfolgen von Qualitätskriterien zu entnehmen.

## Anwendungsfall AWF 030 Rendering

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	50	0	70	60
2	20	40	60	10	70	30	80
3	0	0	0	60	0	70	80
4	0	60	0	0	0	80	70
5	30	60	40	20	70	10	50
6	0	0	80	50	60	0	70
7	30	40	20	70	80	60	10
8	60	20	30	80	50	40	10
9	30	70	20	10	50	40	80
10	40	20	50	10	30	70	80
11	30	60	20	80	40	50	10
12	10	40	30	20	80	70	50
<b>Gesamt</b>	250	410	350	460	530	590	650

Abbildung 37: Beispielhafte Auswertung des Anwendungsfalls 030 – Planungsvarianten (eigene Darstellung)

Mithilfe eines anschließenden paarweisen Vergleichs und einer daraus folgenden Rangfolge der Qualitätskriterien je Anwendungsfall soll schließlich, unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Workshops, das LoV-Konzept definiert werden.

Die weitere Auswertung und genaue Herleitung des LoV-Konzepts werden im nächsten Kapitel erläutert.

## Ergebnisse

### Evaluation der Wirkbeziehung von Qualität und Anwendung

Wie bereits im Konzept des Workshops und der Onlineumfrage erläutert, beruhen die Untersuchungen in Arbeitspaket 3 auf der Erkenntnis aus Arbeitspaket 1, dass der Wert einer Visualisierung im Verhältnis zum Anwendungskontext zu beurteilen ist. Die Priorisierung der Anwendungsfälle sowie die Zuordnung der Visualisierungsarten (vgl. Arbeitspaket 2) sind daher ein maßgeblicher Bestandteil der Entwicklung eines LoV-Konzepts.

Die Analyse der Wirkbeziehung zwischen priorisierten Anwendungsfällen und Qualitätskriterien wurde nun im Rahmen des Arbeitspakets 3 anhand des Workshops und der Onlineumfrage durchgeführt. Durch diese Analyse wird eine Taxonomie der Qualitätskriterien für Bauwerksvisualisierungen in Form einer Gewichtung der in AP2 definierten Qualitätskriterien für jeden priorisierten Anwendungsfall entwickelt.

Dazu gilt es, die identifizierten Qualitätskriterien zur Beschreibung des Level of Visualization (LoV) im nächsten Schritt weiter zu analysieren und zu priorisieren. Damit werden kritische Qualitätskriterien identifiziert, um eine prioritäre Ausrichtung zu gewährleisten und folglich unterschiedliche Auswirkungen auf den LoV zu berücksichtigen. *Paetsch, F., A. Eberlein und F. Maurer (2003)*<sup>73</sup> empfehlen, wichtige Stakeholder und Entscheidungsträger grundsätzlich in den Entscheidungsprozess miteinzubinden, was innerhalb des Forschungsvorhabens durch die Berücksichtigung der quantitativen Ergebnisse sichergestellt wird.

In der Literatur wird für den Priorisierungsprozess der Anforderungen u. a. der paarweise Vergleich vorgeschlagen.<sup>74</sup> Der paarweise Vergleich ist eine Methode zur Entscheidungsfindung, bei der durch Zerlegung in einzelne Vergleiche verschiedene Alternativen hinsichtlich eines oder mehrerer Kriterien zu einer Rangfolge priorisiert werden können. Komplexe Bewertungen zahlreicher Alternativen können so reduziert

---

<sup>73</sup> Paetsch et al. (2003), p. 4.

<sup>74</sup> Atteslander (2010), pp. 232–233.

und simplifiziert werden.<sup>75</sup> Durch die Transformation der quantitativen Forschungsergebnisse in absolute Zahlen werden den Qualitätskriterien einzelne Summenwerte zugewiesen, die die Grundlage für den Vergleich darstellen. (Siehe Anhang 12) Der Vergleich erfolgt über das in Tabelle 8 dargestellte Bewertungsschema, bei dem zwischen drei Bewertungen differenziert wird.

Tabelle 8: Bewertungsschema der paarweisen Vergleiche

Bewertung	Erläuterung
0	Qualitätsmerkmal i wird schlechter bewertet als Qualitätsmerkmal j
0,5	Qualitätsmerkmal i und Qualitätsmerkmal j werden gleich bewertet.
1	Qualitätsmerkmal i wird besser bewertet als Qualitätsmerkmal j

Die Bewertungen werden innerhalb einer quadratischen Matrix zeilenweise hinterlegt. Angesichts einer bipolaren Skalenpolarität wird die Gewichtung der Qualitätskriterien wie nachfolgend dargestellt bestimmt:

*Fall 1: Zeilensumme  $\geq 3,5$ : Gewichtungsfaktor = 2*

*Fall 2: Zeilensumme  $< 3,5$ : Gewichtungsfaktor = 1*

Das Vorgehen ist exemplarisch in Tabelle 9 mit 5 Qualitätskriterien (QK) dargestellt.

Tabelle 9: Bewertungsschema der paarweisen Vergleiche

Bewertungskriterium <i>m</i>	1. QK	2. QK	3. QK	4. QK	5. QK	Zeilensumme <i>e</i>	Rangfolge <i>e</i>	Gewichtungsfaktor
1. QK	-	1	0	0	0	1	4	1
2. QK	0	-	0	0	0	0	5	1
3. QK	1	1	-	0	0	2	3	1
4. QK	1	1	1	-	0,5	3,5	1	2
5. QK	1	1	1	0,5	-	3,5	1	2

Wie in Arbeitspaket 2 erörtert, ist die Dimension der Darstellungsform ein beschreibendes Kriterium und trägt nicht zur Bewertung der Qualität einer

<sup>75</sup> Atteslander (2010), p. 233.

Visualisierung bei. Daher werden die Dimension Darstellung und die damit assoziierten Qualitätskriterien zur Entwicklung des LoV-Konzepts vernachlässigt. Die finalen Qualitätskriterien, die in der weiteren Ausarbeitung betrachtet werden, sind nun Benutzerfreundlichkeit, Auflösung, Kompatibilität, Atmosphäre, Realitätsgrad, Sichtweise und Detaillierungsgrad.

Das beschriebene Vorgehen des paarweisen Vergleichs wird mit diesen sieben Qualitätskriterien für alle Anwendungsfälle und den dort vertretenen Visualisierungsarten angewendet. In Abbildung 38 und Abbildung 39 sind beispielhaft die paarweisen Vergleiche der Qualitätskriterien für den Anwendungsfall 020

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0	1	0	0	0	1	6.	1
Auflösung	1		1	1	1	0	0	4	3.	2
Kompatibilität	1	0		1	1	0	0	3	4.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	0	0	1		0	0	2	5.	1
Sichtweise	1	1	1	1	1		0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

Abbildung 38: Rangfolge der Qualitätskriterien für die Visualisierung „Rendering“ bei AWF 020

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	1	0	0	0	3	4.	1
Auflösung	0		0	0	0	0	0	0	7.	1
Kompatibilität	0	1		1	0	0	0	2	5.	1
Atmosphäre	0	1	0		0	0	0	1	6.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1		1	6	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	0		5	2.	2

Abbildung 39: Rangfolge der Qualitätskriterien für die Visualisierung „Fotomontage“ bei AWF 020

Bedarfsplanung für Rendering und Fotomontage dargestellt.

Je nach Anwendungsfall werden eine bis vier Bauwerksvisualisierungen betrachtet und die entsprechende Rangfolge der Qualitätskriterien ermittelt. Die vollständigen Ergebnisse befinden sich in Anhang 12.

Für die Mehrheit der untersuchten Anwendungsfälle stellen sich folgende Beobachtungen heraus:

- Die Gewichtung der Qualitätskriterien variiert abhängig vom Anwendungsfall.

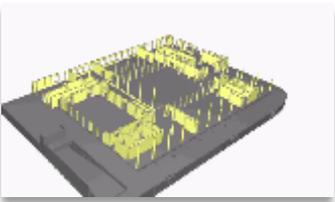
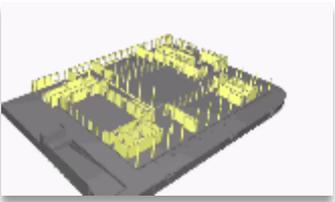
- Im Durchschnitt werden drei Qualitätskriterien als sehr relevant eingestuft (Gewichtung 2), während die anderen vier Qualitätskriterien als weniger relevant (Gewichtung 1) eingestuft werden:
  - o Der **Detaillierungsgrad** wird mit der Ausnahme des Anwendungsfalls 140 (VR) in jedem Anwendungsfall und jeder Visualisierungsart als sehr relevant erachtet (Gewichtung 2).
  - o Die **Sichtweise** wird beim Großteil (ca. 90 %) der Anwendungsfälle und Visualisierungsarten als sehr relevant betrachtet (Gewichtung 2). Die Ausnahmen sind Anwendungsfall 060 (AR) und Anwendungsfall 130 (AR).
  - o Der **Realitätsgrad** wird in ca. 75 % der Fälle als sehr relevant (Gewichtung 2) bewertet.

Die Auswertung der Onlineumfrage hat folglich die Gewichtung einzelner Qualitätskriterien für diverse Visualisierungsarten in bestimmten Anwendungsfällen ergeben und damit die Wirkbeziehung zwischen Qualität und Anwendungsszenario verdeutlicht.

### Spezifikation von Qualitäten der Bauwerksvisualisierung

Basierend auf der Auswertung des Workshops können die einzelnen Ausprägungsformen eines Qualitätskriteriums (bspw. für die Formgebung: realitätstreu, realitätsnah, symbolisch) spezifiziert und mit Beispielen hinterlegt werden. Geht demnach aus der Auswertung des Workshops hervor, dass eine Visualisierung vom Großteil der Teilnehmer in einem Qualitätskriterium als gleich bewertet wird, wird diese Visualisierung nachfolgend als Beispiel für die Ausprägungsform des Qualitätskriteriums genutzt. In der folgenden Tabelle 10 ist das Qualitätskriterium des Realitätsgrads untergliedert in Formgebung, Farb- und Materialwahl sowie Kontextualisierung dargestellt. Die Ausprägungsformen des Qualitätskriteriums entsprechen hier realitätstreu, realitätsnah und symbolisch, wobei realitätstreu der höchstmöglichen Bewertung entspricht und symbolisch der niedrigsten. Der 3D-Druck wurde von den Teilnehmern des Workshops in seiner Formgebung als realitätsnah bewertet, in der Farb- und Materialwahl jedoch als symbolisch. Die Bauablaufsimulation wurde sowohl in der Formgebung als auch in der Kontextualisierung als symbolisch bewertet.

Tabelle 10: Spezifikation der Qualitätskriterien Realitätsgrad (eigene Darstellung)

REALITÄTSGRAD		
Formgebung		
R3	R2	R1
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
Entspricht zu 75-100% der echten Form des Gebäudes.	Entspricht zu 50-75% der echten Form des Gebäudes.	Entspricht zu weniger als 50% der echten Form des Gebäudes.
		
Farb- und Materialwahl		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
Entspricht zu 75-100% den echten Farben und Materialien des Gebäudes.	Entspricht zu 50-75% den echten Farben und Materialien des Gebäudes.	Entspricht zu weniger als 50% den echten Farben und Materialien des Gebäudes.
		
Kontextualisierung		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
Entspricht zu 75-100% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	Entspricht zu 50-75% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	Entspricht zu weniger als 50% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.
		

Analog wird dies für alle Qualitätskriterien spezifiziert. Diese Ergebnisse sind im **Anhang 13: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala** abgebildet.

## Mehrdimensionale Ergebnismatrix

Die Weiterentwicklung der mehrdimensionalen Ergebnismatrix baut auf der Priorisierung der Qualitätskriterien sowie der Spezifikation der Ausprägungsformen dieser auf. Daher ist es möglich, pro Anwendungsfall die erforderliche Qualität einer Bauwerksvisualisierung zu ermitteln.

In AP2 wurden die Qualitätskriterien anhand von drei Ebenen aufgebaut. Die erste Ebene stellen dabei die vier Dimensionen Form, Medium, Darstellung und Detaillierung dar. Den Dimensionen untergeordnet enthält die zweite Ebene die grobe Auflistung der Qualitätskriterien, die stellenweise auch als Kategorien bezeichnet werden. Dazu zählen Benutzerfreundlichkeit, Kompatibilität, Auflösung, Atmosphäre, Realitätsgrad, Sichtweise und Detaillierung. Auf der dritten Ebene werden diese Kategorien weiter konkretisiert. Dies sind die Unterkategorien, die jedoch nur bei manchen Kategorien als notwendig erachtet werden.

Im Laufe des Forschungsprojekts wird durch die Unterteilung der Qualitätskriterien in subjektive und objektive sowie beschreibende und bewertende Kriterien festgestellt, dass die Zuordnung nach Dimensionen nicht zielführend ist. Die jeweiligen Dimensionen und deren Kategorien und Unterkategorien haben zu unterschiedliche Inhalte und werden nach konstanter Weiterentwicklung den Überschriften der Dimensionierung nicht mehr gerecht. Um eine sinnvolle Bewertung von Bauwerksvisualisierungen zu erzielen, wird der Fokus auf die bewertenden Qualitätskriterien gelegt und damit nur diese Kategorien und Unterkategorien in die weitere Entwicklung des LoV integriert.

## Ableitung geeigneter Stufen für das LoV-Konzept unter Einbeziehung des Konsortiums

Nach finaler Definition der betrachteten Qualitätskriterien und der Spezifikation der Ausprägungsformen der einzelnen Kriterien gilt es nun Stufen für einen LoV zu definieren. Diese Stufen sollen schließlich die von einer Visualisierung erzielbaren Stufen der Qualität beschreiben.

Die Stufen werden in Abhängigkeit der Gewichtung der Qualitätskriterien definiert und sollten entlang der Bewertungsskala ermittelt werden. Darauf basierend wird schließlich ein Punktesystem eingeführt, das die Einordnung einzelner Visualisierungen in die Stufen des LoV vereinfachen soll.

Bei der Wahl der Skala wird eine dreistufige Likert-Skala gewählt. Die Likert-Skala wurde u. a. in einer Publikation von *R. Likert* „A technique for the measurement of

attitudes“ eingeführt und ist inzwischen eine etablierte Methodik, um Meinungen und Wahrnehmungen von Personen zu messen. Die Likert-Skala wird für die Ableitung der LoV-Stufen genutzt, da es dadurch möglich ist, die Wahrnehmung einzelner Qualitätskriterien diskret abzugrenzen. Hier wird eine 3-Punkt-Likert-Skala verwendet, die in eine höchste, mittlere und geringste Bewertung der Qualität unterscheidet. Diesen Bewertungen werden zur Quantifizierung der Ergebnisse Punkte zugeordnet, indem die höchste Bewertung fünf Punkte, die mittlere drei Punkte und die geringste Bewertung einen Punkt erhält. Dieses Vorgehen hat bereits in der Auswertung des Workshops Anwendung gefunden und ist zusammenfassend in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Punktesystem für die Bewertung der Kategorien (Qualitätskriterien 2. Ebene) (eigene Darstellung)

Punktesystem für die Bewertung der Kategorien	
Höchste Bewertung (hoch/realitätstreu etc.)	5 Punkte
Mittlere Bewertung (mittel/realitätsnah etc.)	3 Punkte
Geringste Bewertung (gering/symbolisch etc.)	1 Punkt

Im vorherigen Kapitel zur Evaluation der Wirkbeziehung von Qualität und Anwendung wurden die sieben Qualitätskriterien je Anwendungsfall und Bauwerksvisualisierungsart priorisiert. Jedes dieser Kriterien kann die höchste, mittlere oder geringste Bewertung und damit fünf, drei oder einen Punkt erhalten. Um nun die Stufen des LoV zu definieren, gilt es, die minimalen und maximalen Bewertungen der Qualitätskriterien unter Berücksichtigung der Gewichtung für jeden Anwendungsfall zu errechnen. Demnach ergeben sich unter Einbezug der Gewichtungen und der gewählten Likert-Skala für einen dreistufigen LoV für den Anwendungsfall 020 folgende Maximal- und Minimalwerte:

$$\textbf{Maximalwert: } 3 \times 2 \times 5 + 4 \times 1 \times 5 = 30 + 20 = 50$$

(Anzahl Gewichtungen x Gewichtungsfaktor x höchster wert Likert-Skala)

$$\textbf{Minimalwert: } 3 \times 2 \times 1 + 4 \times 1 \times 1 = 6 + 4 = 10$$

(Anzahl Gewichtungen x Gewichtungsfaktor x geringster Wert Likert-Skala)

Abstrahiert man diese Rechnungen zur Ermittlung der LoV-Stufen eines Anwendungsfalls, so erhält man folgende Formel:

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=1}^n x_i \times g \times Ls$$

Dabei sind:

$\bar{\sigma}$  = Punktzahl der Visualisierung

$x_i$  = Anzahl der Qualitätskriterien (Kategorien) mit einem Gewichtungsfaktor  $g$

$g$  = Gewichtungsfaktor (abhängig vom Anwendungsfall)

$Ls$  = Wert der Likert-Skala (5 Punkte, 3 Punkte oder 1 Punkt)

Der Wertebereich zwischen minimaler und maximaler Punktzahl wird in drei gleichwertige Stufen unterteilt. Hier dargestellt sind beispielweise die Stufen für den Anwendungsfall 020, wobei jede LoV-Stufe 13 Punkte enthält:

**LoV-Stufe 1: 10-23**

**LoV-Stufe 2: 24-37**

**LoV-Stufe 3: 38-50**

Um die oben beschriebene Gesamtpunktzahl einer Visualisierung berechnen zu können, müssen jedoch aus den Unterkategorien der Qualitätskriterien Durchschnittswerte für die Ebene der Kategorie gebildet werden. Daher wird anhand des zuvor genutzten Punktesystems das arithmetische Mittel für jede Kategorie errechnet:

$$\bar{X}_i = \frac{(x_1+x_2+x_3+\dots+x_n)}{n} \quad \text{oder allgemein:} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

Dabei sind:

$\bar{X}_i$  = Durchschnittliche Bewertung eines Qualitätskriteriums auf Ebene der Kategorie

$x_j$  = Bewertung der Unterkategorie

$i$  = Kategorien

$j$  = Unterkategorien

$n$  = Anzahl der Unterkategorien

Die Berechnung der Punktzahl einer Visualisierung für einen bestimmten Anwendungsfall erfolgt demnach durch die initiale Berechnung der Durchschnittswerte der einzelnen Kategorien und schließlich die Multiplikation mit der anwendungsspezifischen Gewichtung wie oben in der Formel für  $\bar{\sigma}$  erläutert. Dann

kann diese Punktzahl in die LoV-Stufen des jeweiligen Anwendungsfall eingeordnet werden.

### Definition des LoV-Stufenkonzepts

Basierend auf der so entwickelten Berechnung der Stufen, kann nun das gesamte LoV-Stufenkonzept entwickelt werden. Dieses ist abhängig von den Anwendungsfällen, da die Gewichtung der Qualitätskriterien jeweils im Kontext der Anwendungsfälle vorgenommen wurde. Die Konsequenz daraus ist die Entwicklung von anwendungsfallsspezifischen Stufen.

In Anlehnung an das bereits in der Praxis bekannte und implementierte LOD-Konzept ist das entwickelte LoV-Konzept in einzelne Stufen unterteilt, anhand derer eine Bewertung vorgenommen werden kann. Der LoV wird über drei Stufen definiert, um somit eine klare Eingrenzung der unterschiedlichen Qualitätsstufen zu gewährleisten. Die Berechnung des LoV erfolgt über eine mehrdimensionale Bewertungsmatrix, die auf Basis der Qualitätskriterien und deren spezifische Ausprägungsformen je Anwendungsfall eine individuelle Bewertung der Qualität berechnet. Dies erlaubt eine quantitative Bewertung und Einstufung des LoV, womit Ungenauigkeiten, die bei einer rein qualitativen Bewertung auftreten, eliminiert werden sollen. Die einzelnen LoV-Stufen können auf Basis festdefinierter Grenzwerte eindeutig zugeordnet werden. Die genaue Methode zur Entwicklung des LoV-Konzepts kann dem Forschungsendbericht des Projekts entnommen werden.

Das LoV-Konzept lässt sich wie folgt definieren:

- LoV-100: Stufe 1 bei der ausgewählten Bauwerksvisualisierung des Anwendungsfalls
- LoV-200: Stufe 2 bei der ausgewählten Bauwerksvisualisierung des Anwendungsfalls
- LoV-300: Stufe 3 bei der ausgewählten Bauwerksvisualisierung des Anwendungsfalls

Das zur Beschreibung eines LoV intendierte Stufenkonzept beinhaltet wie zuvor hergeleitet drei Stufen, die als LoV-100, LoV-200 und LoV-300 bezeichnet werden. Die Gliederung in Hunderter-Schritte ist angelehnt an die bestehenden Detaillierungsgrade (bspw. Level of Detail) und bietet somit die Möglichkeit einer zukünftigen weiteren Untergliederung in Zehner- und Einer-Schritte. Ein höherer LoV ist mit einer höheren

Qualität einer Visualisierung gleichzusetzen. LoV-300 ist folglich der höchste Qualitätsgrad einer Visualisierung in dem betrachteten Anwendungsfall.

Daraus resultiert folgende beispielhafte Stufendefinition (vgl. Tabelle 12):

Tabelle 12: Beispielhafte Darstellung des anwendungsspezifischen LoV-Konzepts (eigene Darstellung)

<b>AWF 020 – Visualisierung Fotomontage</b>	
<b>Stufe</b>	<b>Punktespektrum</b>
LoV-100	10-23
LoV-200	24-37
LoV-300	38-50

Als Hilfestellung zur Bewertung der zugrundeliegenden Qualitätskriterien einer Visualisierung dienen die basierend auf dem Workshop entwickelten Spezifikationen einzelner Ausprägungsformen der Qualitätskriterien, die im **Anhang 14: Mehrdimensionale Matrix zur Ermittlung des anwendungsfallspezifischen LoV** abgebildet sind.

Die LoV-Bewertungsmatrix setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die nachfolgend einzeln zur Förderung der Nutzerfreundlichkeit und Praktikabilität erläutert werden:

- **Erste Spalte:** Kategorien – Hier werden alle identifizierten sieben bewertenden Kategorien aufgelistet.
- **Zweite Spalte:** Unterkategorien – Diese Spalte umfasst alle ergänzenden Unterkategorien. Diese sind analog den entsprechenden Kategorien ausgerichtet.
- **Dritte Spalte:** Bewertungsskala – Diese Spalte dient der allgemeinen Beschreibung bzw. Aufführung der definierten Skalenpunkte.
- **Vierte Spalte:** Bewertung – Diese Spalte dient dem Eintrag der präferierten Bewertungsskala.
- **Fünfte Spalte:** Zwischensumme – Hier wird die Zwischensumme für entsprechende Unterkategorien gebildet.
- **Sechste Spalte:** Kumulierte Zwischensumme – Mithilfe der Zwischensumme kann die kumulierte Zwischensumme berechnet werden. Dies ist lediglich relevant für Kategorien, die über eine Unterkategorie verfügen.
- **Siebte Spalte:** Kumulierte Skala – Hier werden die kumulierten Zwischensummen wieder in das einheitliche Skalenformat überführt.

- **Achte Spalte:** Kumulierte Bewertung – In dieser Spalte werden die kumulierten Bewertungen entsprechend den kumulierten Skalen dargestellt.
- **Neunte Spalte:** Likert-Skala – In dieser Spalte werden die korrespondierenden Likert-Skala zu den kumulierten Bewertungen dargestellt.
- **Zehnte Spalte:** Gewichtungsfaktor – In Abhängigkeit des vorliegenden Anwendungsfalls werden in dieser Spalte unterschiedliche Einflussfaktoren in den einzelnen (Unter-)Kategorien berücksichtigt und entsprechend wechselnde Relevanzen mithilfe eines Gewichtungsfaktors dargestellt.

Die Bewertungsmatrix ist nachfolgend in Abbildung 40 vollständig dargestellt.

Kategorie	Unterkategorie	Bewertungsskala	Bewertung	Zwischensumme	kumulierter Zwischenwert	Kennzahl Skala	Kumulierte Bewertung	Likert Skala	Gewichtungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Niedrig				Niedrig		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Anforderung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
	Schauspiel/Trick	Hoch				Mittel		3	
		Mittel				Mittel		3	
		Niedrig				Mittel		3	
Koreposition	Anspruchend				Gering		1		
	Teilweise-Anspruchend				Gering		1		
Realitätsgrad	Formgebung	realistisch				realistisch		5	1
		realistisch				realistisch		5	
		symbolisch				realistisch		5	
	Farb-/Materialwahl	realistisch				realistisch		5	
		realistisch				realistisch		5	
		symbolisch				realistisch		5	
	Konstruktivierung	realistisch				realistisch		5	
		realistisch				realistisch		5	
		symbolisch				realistisch		5	
Darstellungssituation	realistisch				symbolisch		1		
	realistisch				symbolisch		1		
	symbolisch				symbolisch		1		
Sichtweise	ästhetische Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		wenig detailiert				wenig detailiert		1	
		symbolisch				symbolisch		1	
<b>Gesamt Punktzahl</b>									
<b>Erreichter LoV-Stufe</b>									

Abbildung 40: LoV-Bewertungsmatrix (eigene Darstellung)

### Entwicklung eines Referenzmodells als Demonstrator

Für ein besseres Verständnis der Bestimmung des LoV wird nachfolgend ein Beispiel für den Anwendungsfall 020 und die Visualisierungsart „Rendering“ aufgeführt:

1. Im ersten Schritt wird definiert, für welchen Anwendungsfall die Bauwerksvisualisierung benötigt wird. Insgesamt stehen, die 8 Anwendungsfälle aus Tabelle 13 zur Auswahl.
2. Im Anschluss wird auf Grundlage der Form und Art der Darstellung ermittelt, welche Bauwerksvisualisierungsart gewählt werden soll. Dabei werden ebenfalls Empfehlungen für die Anwendung einzelner Bauwerksvisualisierungsarten ausgesprochen. (Vgl. Tabelle 14)

3. Im dritten Schritt wird mithilfe der Bewertungsmatrix und der dort hinterlegten einzelnen Bewertungsskalen die Qualität der verschiedenen Qualitätskriterien bestimmt. Eine Auswahl wird in diesem Beispiel mit einem X markiert. (Vgl. Tabelle 15)
4. Durch die Bestimmung der einzelnen Zwischensummen der Qualitätskriterien (inkl. Kumulation der Zwischensummen der Qualitätskriterien mit Unterkategorien) wird die Qualität der ausgewählten Bauwerksvisualisierung definiert.

Die Ermittlung des Gesamtergebnisses kann somit auf Basis der festgelegten Grenzwerte (vgl. Tabelle 12: Beispielhafte Darstellung des anwendungsspezifischen LoV-Konzepts) für diesen Anwendungsfall und die entsprechende Visualisierungsart wie folgt durchgeführt werden.

$$\text{Gesamtergebnis} = \sum [\text{Likert-Skala (A)} \times \text{Gewichtungsfaktor (A)}]$$

$$\begin{aligned} \text{Gesamtergebnis} &= (1 \times 1) + (1 \times 1) + (3 \times 1) + (3 \times 1) + (3 \times 2) + (3 \times 2) + (5 \times 2) \\ &= (2 \times 1 \times 1) + (2 \times 3 \times 1) + (2 \times 3 \times 2) + (1 \times 5 \times 2) \\ &= 2 + 6 + 12 + 10 \\ &= \mathbf{30 \text{ Punkte} \rightarrow \text{LoV-200}} \end{aligned}$$

Aus dieser Ermittlung ergibt sich folgender LoV:

**LoV-200 für Rendering bei AWF 020.**

Tabelle 13: AWF Prio 1 (eigene Darstellung)

Anwendungsfall	Benennung
AWF 020	Bedarfsplanung
AWF 030	Planungsvarianten / Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen
AWF 050	Koordination der Fachgewerke
AWF 060	Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung
AWF 090	Genehmigungsprozess
AWF 120	Terminplanung der Ausführung
AWF 130	Logistikplanung
AWF 140	Baufortschrittskontrolle

Tabelle 14: Ermittlung der Bauwerksvisualisierung (eigene Darstellung)

Bauwerksvisualisierung	Form						Art der Darstellung		
	Form 1		Form 2		Form 3		Darstellungsform		
3D-Druck	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Rendering	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Animationsfilm	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Bauablaufsimulation	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Augmented Reality	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Virtual Reality	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv

Tabelle 15: Demonstrator - Ermittlung eines LoV für AWF 020 – Rendering (eigene Darstellung)

Kategorien	Unterkategorien	Bewertungs- skala	Bewer- tung	Zwischen- score	Kumulierte Zwischen- summe	Kumulierte Skala	Kumulierte Bewertung	Likert- Skala	Gewichtungs- faktor	
Benutzerfreund- lichkeit		Hoch				Hoch		1	1	
		Mittel				Mittel				
		Gering	x			Gering	x			
Kompatibilität		Hoch				Hoch		1	1	
		Mittel				Mittel				
		Gering	x			Gering	x			
Auflösung		Hoch				Hoch		3	2	
		Mittel	x			Mittel	x			
		Gering				Gering				
Atmosphäre	Szene	Hoch		1	$(1+1+5) / 3 = 2,34 \Rightarrow 3$	Hoch		3	1	
		Mittel								
		Gering	x							
	Schatten/Licht	Hoch		1						
		Mittel								x
		Gering	x							
	Komposition	Ansprechend	x	5						
		Teilweise ansprechend								
		nicht ansprechend								Gering
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu		3	$(3+3+1+1) / 4 = 2 \Rightarrow 3$	realitätstreu		3	1	
		realitätsnah	x							
		symbolisch								
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu		3						
		realitätsnah	x							
		symbolisch								x
	Kontextualisierung	realitätstreu		1						
		realitätsnah								
		symbolisch	x							
	Beleuchtungs- situation	realitätstreu		1						
		realitätsnah								
		symbolisch	x							symbolisch
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		3	2	
		mittel	x			mittel	x			
		schwer				schwer				
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert	x			detailliert	x	5	2	
		vereinfacht				vereinfacht				
		symbolisch				symbolisch				

Tabelle 16: Grenzwerte des LoV-Konzepts (eigene Darstellung)

<b>AWF 020 – Visualisierung Rendering</b>	
<b>Stufe</b>	<b>Punktespektrum</b>
LoV-100	10-23
LoV-200	24-37
LoV-300	38-50

Dieser Demonstrator befindet sich ebenfalls im **Anhang 14: Mehrdimensionale Matrix zur Ermittlung des anwendungsfall-spezifischen LoV**. Dieser kann ebenfalls als Excel-Tabelle bei den federführenden Autoren dieses Berichts angefordert werden.

## AP4 - Validierung, Anpassung LoV-Konzept

### Ausgangssituation

Fortlaufend im Projekt war es notwendig, die erlangten Erkenntnisse mit unterschiedlichen Instanzen (partizipierenden Stakeholdern) zu validieren. Hierfür wurden diverse Methoden für die Validierung definiert, um die Qualität der Ergebnisse von Projektanfang bis -ende zu gewährleisten. Insofern wurde zu Beginn des Forschungsprojekts bewusst keine zeitliche Begrenzung des AP4 definiert. Das AP4 erstreckte sich somit über die gesamte Dauer des Forschungsvorhabens. Dabei wurden für die kontinuierliche Validierung der Ergebnisse folgende Maßnahmen getroffen:

Monatliche Jour fixe (JF) mit Forschungspartnerinnen und -partnern, um die Ergebnisse zu diskutieren und Feedback und Kommentaren zu sammeln.

Workshops für Teilergebnisse.

Fortlaufende Abstimmungen mit externen Stakeholdern, um die Verständlichkeit, Praktikabilität und Anwendbarkeit des LoV-Konzepts zu gewährleisten, die als Grundlage für die Entwicklung des Praxisleitfadens in AP5 dient.

Aufgrund der hohen Komplexität bei der Entwicklung des LoV-Konzepts und des aufgezeigten zukünftigen weiteren Forschungsbedarfs in diesem Themengebiet wurde keine umfassende finale Validierung des LoV-Konzepts in einem Workshop mit den Forschungspartnern durchgeführt. Somit wurde das entwickelte LoV-Konzept lediglich den Projektpartnerinnen und -partnern präsentiert und Anmerkungen wurden eingeholt, um mögliche Anpassungen vornehmen zu können.

Die durchgeführten Maßnahmen werden im nachfolgenden Abschnitt näher beschrieben.

### Monatlicher Jour fixe mit den Forschungspartnern

Im Laufe des Projekts wurde gemeinsam mit dem Forschungskonsortium beschlossen - unabhängig von Workshops - regelmäßige JF abzuhalten. Die JF fanden überwiegend digital über die Plattform MS-Teams in einem monatlichen Turnus statt.

Das generelle Ziel bestand darin, regelmäßiges Feedback über generierte (Teil-) Ergebnisse zu sammeln und zu besprechen. Hierfür wurde den Projektpartnern vorab der aufbereitete aktuelle Projektstand durch die Projektleitung zugesendet.

In den JF konnte somit ein konstruktives Feedback seitens der einzelnen Partner direkt eingeholt und mögliche Änderungen bzw. Anpassungen vorgenommen sowie in den Unterlagen festgehalten werden.

Nach den JF wurden die Erkenntnisse detailliert in das Projekt eingearbeitet. Dies bildete die Grundlage, um weitere Analysen durchzuführen. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden im Nachgang per Mail an alle Forschungspartner kommuniziert. Danach hatten sie die Möglichkeit, die aufgenommenen Punkte erneut schriftlich zu kommentieren, um einen finalen Konsens unter den Beteiligten zu gewährleisten.

#### Validierung durch Expertenworkshops in AP3

Der Workshop im AP3 wurde wie oben erwähnt als eine weitere Validierung der ausgearbeiteten Qualitätskriterien sowie Bewertungsskalen organisiert. Die Vorbereitung und Durchführung des Workshops wurden bereits im AP3 beschrieben.

Neben der Bewertung der Bauwerksvisualisierungen durch das Online-Tool hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, Kommentare zu den **Qualitätskriterien** und zu dem Bewertungssystem abzugeben. Dies wurde durch eine im Online-Tool implementierte Kommentarfunktion ermöglicht. Dadurch wurden wertvolle Erkenntnisse zur Benennung der Qualitätskriterien gesammelt, bis hin zum Beitrag eines tieferen Verständnisses des Bewertungssystems. Dadurch war es möglich, die mehrdimensionale Bewertungsmatrix als Ganze zu überarbeiten und finalisieren. Diese Erkenntnisse ergänzten die im JF gesammelten Feedbacks der Forschungspartner.

#### Abstimmung mit FIWA (Freie Ideenwerkstatt für Architektur und Kunst)

Neben den bereits beschriebenen Validierungsstufen mit den Forschungspartnern inklusive des Workshops für die Bewertung von Bauwerksvisualisierungen wurde zusätzlich die Expertise eines Architektur- und Gestaltungsbüro hinzugezogen.

FIWA wird von einem Architekturbüro und dort von Architekt Dipl.-Ing. Frank Hadwiger geführt und deckt unter anderem folgende Leistungen ab:

- Zeichnungsdokumente in Liniengrafik
- Dreidimensionale Gebäudemodellierung
- Fotorealistische Darstellungen
- Innenarchitektur & Objekt design

---

Durch die mehrjährige Erfahrung von Frank Hadwiger war es möglich, tiefere Einblicke und über das Projektkonsortium hinaus neue Perspektiven über die Bauwerksvisualisierungen zu gewinnen. Insbesondere wurde die Fragestellung diskutiert, welche Aspekte für die Erstellung von Bauwerksvisualisierungsarten eine Rolle in der Bewertung von deren Qualität spielen. Durch diese Einblicke war es möglich, die Liste der Qualitätskriterien und Anwendungsfälle besser einzugrenzen und zu konkretisieren.

#### Peer-Review

Die Validierung erfolgt in Abstimmung mit Forschungskollegen am Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen sowie durch einen Austausch mit dem Institut für Psychologie (IfP) an der RWTH Aachen University. Damit wurde sichergestellt, dass die methodischen Herangehensweisen sowie Auswertungen und folglich die daraus resultierenden Ergebnisse fachlich überprüft und fundiert sind.

## AP5: Erarbeitung Leitfaden zur Ergebnisdistribution

Das fünfte Arbeitspaket bildet den Abschluss des Forschungsprojekts und widmet sich vollumfänglich der Ausarbeitung des Praxisleitfadens. Der Praxisleitfaden verfolgt das Ziel, die erarbeiteten Definitionen des LoV-Konzepts und die allgemeine Ergebnisdistribution so zielgerichtet wie möglich zu publizieren bzw. zu gestalten und die Anwendung in der Praxis zu forcieren. Der Praxisleitfaden fokussiert als Zielgruppe überwiegend Auftraggeberinnen bzw. Auftraggeber sowie Auftragnehmerinnen bzw. Auftragnehmer. Innerhalb des Dokuments werden anschauliche Beispielvisualisierungen je Stufe sowie entsprechende Beschreibungen ausgearbeitet und aufbereitet. Mit der Formulierung von fundierten Empfehlungen als Handreichung für Bauherrinnen und Bauherrn sowie Auftragnehmerinnen und Auftragnehmer soll eine hohe Praktikabilität, Anwendungsfreundlichkeit und vereinfachte Integration der Ergebnisse in die Praxis ermöglicht werden.

Angesichts der identifizierten umfangreichen Anwendungsfälle und der einzelnen Qualitätskriterien ergeben sich diverse Szenarien für die definierten Anwendergruppen. Insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Gewichtungen in den Qualitätskriterien bedarf es vorab einer kurzen Erläuterung der Entwicklung des Leitfadens, die nachfolgend in einzelne Schritte unterteilt ist. Somit soll die Verständlichkeit und Anwendungsfreundlichkeit gesteigert werden.

- Schritt 1 - Zieldefinition:

Hier erfolgt zu Beginn die einheitliche Definition der Ziele und des Zwecks des Leitfadens. Darüber hinaus wird definiert, welche Informationen in den Leitfaden integriert werden und an welche Zielgruppe er sich richtet.

- Schritt 2 - Zielgruppenanalyse und -definition:

Für die Zielgruppeneingrenzung werden im nächsten Schritt detaillierte Anforderungen analysiert und definiert, um möglichst vollumfänglich die unterschiedlichen Bedürfnisse der Zielgruppen zu adressieren. Für diesen Leitfaden besteht die Zielgruppe – wie bereits oben zu Beginn des Kapitels beschrieben - aus: Auftraggeberinnen bzw. Auftraggebern (privat und öffentlich), Auftragnehmerinnen bzw. Auftragnehmern sowie weiteren externen Stakeholdern, die im Bauprozess mit Bauwerksvisualisierungen in Berührung kommen.

- Schritt 3 - Strukturierung und Gliederung:

Zur Sicherstellung der Benutzerfreundlichkeit sind im nächsten Schritt eine klare Struktur und Gliederung für den Leitfaden notwendig, um eine logische Abfolge der Informationen sicherzustellen. Der Leitfaden gliedert sich dabei wie folgt:

Vorwort

Kapitel 1: Einleitung

Kapitel 2: Definition von Bauwerksvisualisierungen

Kapitel 3: Gängige Visualisierungsarten im Bauwesen

Kapitel 4: Qualitätsbeschreibung der Bauwerksvisualisierungen

Kapitel 5: Relevante BIM-Anwendungsfälle zum Einsatz von Bauwerksvisualisierungen

Kapitel 6: Definition des LoV-Konzepts zur Bewertung von Bauwerksvisualisierungen

Kapitel 7: Schlusswort

- Schritt 4 - Inhaltliche Ausarbeitung:

Der Leitfaden wird in Hinblick auf die definierten Ziele so präzise und verständliche wie nötig, aber so einfach wie möglich erläutern. Dabei werden Anleitungen, Methoden und Konzepte in einer verständlichen Sprache erklärt und bei Bedarf durch veranschaulichende Beispiele ergänzt.

- Schritt 5 - Integration von Grafiken und Visualisierungen:

Wie unter Schritt 4 erwähnt, werden bei Bedarf geeignete Grafiken, Diagramme und Bauwerksvisualisierungen hinzugefügt, um die Textinhalte zu unterstützen. Diese visuellen Elemente werden so informativ und ansprechend gewählt, um die Verständlichkeit zu fördern. Darüber hinaus werden in bestimmten Abschnitten praxisorientierte Beispiele und Fallstudien integriert, um die Theorie mit realen Anwendungssituationen zu verknüpfen.

- Schritt 6 - Rückmeldungen und Iteration:

Hervorzuheben sei, dass der Leitfaden als dynamisches Dokument zu verstehen ist. Aufgrund des noch aufgezeigten Forschungsbedarfs in diesem sehr jungen Forschungsfeld wird eine konsequente Weiterentwicklung empfohlen. Mögliche

nachträgliche Anmerkungen sollen fortwährend ergänzt und Anpassungen regelmäßig publiziert werden.

Der ausgearbeitete finale Leitfaden wird als separates Dokument zur Verfügung gestellt.

## Fazit

Das zentrale Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines LoV-Konzepts zur qualitativen Beschreibung und Bewertung von Bauwerksvisualisierungen. Die Qualitätskriterien, die in diesem Rahmen entwickelt wurden, bilden eine wissenschaftliche Grundlage für den strukturierten Einsatz von Bauwerksvisualisierungen in Bauprojekten. Die Ergebnisse leisten daher einen Beitrag zur Definition von Qualitätsstufen von Bauwerksvisualisierungen und unterstützen die Praxis somit bei der Beauftragung von Visualisierungsleistungen.

Aufgrund der Heterogenität des Begriffsverständnisses innerhalb der Branche war es in den ersten Phasen des Projekts notwendig, die Grundlagen der Visualisierungen zu ermitteln. Im Zentrum standen dabei branchenübliche Visualisierungen und deren Anwendungsrahmen im Kontext der Baubranche. Diese Voruntersuchungen bilden die Grundlage, um die zu betrachteten Anwendungsfälle zu extrahieren sowie Qualitätskriterien für Visualisierungen einzugrenzen. Für ein einheitliches Verständnis der Thematik wurde ein Glossar mit den relevanten Begriffserklärungen erstellt.

Nach der Festlegung einer einheitlichen Sprache im Forschungsprojekt wurde die Prämisse der Beschreibung von Qualität für Visualisierungen identifiziert. Bestehende Standards zur Beschreibung von 3D-Modellen, die als Input für die Erstellung von Visualisierungen dienen, Qualitätskriterien zur Bewertung von Bauwerksvisualisierungen, relevante Anwendungsfälle sowie notwendige Soft- und Hardware zur Erstellung von Visualisierungen wurden ermittelt.

Im Rahmen der Entwicklung des LoV-Konzepts wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel der Ermittlung geeigneter Qualitätskriterien und dem Aufbau eines stufenweisen Konzepts. Dazu wurde eine dreistufige Skala eingeführt, die es ermöglicht, die Qualität von Bauwerksvisualisierungen in drei Level zu unterteilen (LoV-100, LoV-200,-LoV-300). Die Herleitung dieser Level gestaltete sich wie folgt: Zunächst wurde die Abhängigkeit der Qualität von Bauwerksvisualisierungen des jeweiligen Anwendungsfalls identifiziert. Daher wurde im nächsten Schritt eine anwendungsfallspezifische Gewichtung ermittelt. Basierend auf einem Workshop und der ermittelten Gewichtung wurde die Qualitätsbewertung quantifiziert und wurden numerisch definierte Stufen eingeführt. Diese Stufen basieren auf der Berechnung der Maximal- und Minimalwerte der Punktezahlen einzelner Visualisierungen.

Das entwickelte LoV-Konzept wird durch verschiedene Instanzen validiert, und die Ergebnisse dieser Analyse fließen in einen praxisorientierten Leitfaden, welcher als Handlungsempfehlung für die Baubranche erarbeitet wurde.

Angesichts der begrenzten Anzahl der Teilnehmer in den Onlineumfragen und in den Workshops sind die Ergebnisse nicht als ganzheitlich repräsentativ für die Baubranche einzuordnen. Allerdings stellt diese Analyse einen ersten Ansatz der Durchdringung und Etablierung eines Standards für die Bauwerksvisualisierung dar. Dieser bildet die Basis für zukünftige Forschungen im Themengebiet der Visualisierungen im Rahmen des Bausektors. Anzumerken ist die Heterogenität der Meinungen und des Verständnisses zu diesem Thema in der Branche, welche die Entwicklung eines branchenweiten Standards maßgeblich erschwert. Die Begrenzung der Analyse auf bestimmte Anwendungsfälle und Bauwerksvisualisierungen ist eine weitere Limitation für den flächendeckenden Einsatz des Leitfadens, bietet jedoch – wie bereits beschrieben – die Basis für weitere Untersuchungen zur Qualitätsbeschreibung von Visualisierungen.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts tragen maßgeblich zur Entwicklung der qualitativen Beschreibung und Bewertung von Bauwerksvisualisierungen bei. Die Qualitätskriterien bieten eine wissenschaftliche Grundlage für den strukturierten Einsatz von Visualisierungen in Bauprojekten und unterstützen die Praxis bei der Beauftragung von Visualisierungsleistungen. Die Einführung einer dreistufigen Skala ermöglicht eine differenzierte Bewertung der Visualisierungen (LoV-100, LoV-200, LoV-300) und berücksichtigt dabei die Anwendungsfälle sowie eine anwendungsspezifische Gewichtung. Diese Ergebnisse haben unmittelbare Anschlussfähigkeit in der Praxis und werden in einen praxisorientierten Leitfaden integriert, der als Handlungsempfehlung für die Baubranche dient.

Die Ergebnisse illustrieren deutlich den signifikanten Zusammenhang zwischen der Qualität von Bauwerksvisualisierungen und deren spezifischem Anwendungsfall sowie der Zielgruppe. Bauwerksvisualisierungen fungieren als Kommunikationsmittel und bieten eine vereinfachte Darstellung von Informationen. Dennoch bleibt unerforscht, inwieweit sie die Entscheidungsfindung im tatsächlichen Planungs- und Bauprozess unterstützen. Obwohl eine klare Korrelation zwischen Informationsqualität und Entscheidungsqualität besteht, fehlt eine präzise Aussage darüber, welchen Beitrag qualitative Bauwerksvisualisierungen tatsächlich zur Entscheidungsfindung leisten. Zudem bedarf es weiterer Untersuchungen, um den potenziellen Beitrag von

---

Bauwerksvisualisierungen zur Effizienzsteigerung im Bauprozess umfassend zu erfassen.

An dieser Stelle wird der direkte Transfer von Wissen durch die Veröffentlichung von Zwischen- und Endergebnissen des Leitfadens gewährleistet. Die Verbreitung erfolgt auf den Webseiten des ICOM und der Kooperationspartner. Neben Präsentationen bei Fördermittelgebern sind auch gezielte Projektvorstellungen auf Fachtagungen und Fachkonferenzen sowie Veröffentlichungen in einschlägigen Fachpublikationen vorgesehen. Ein konkretes Vorhaben besteht darin, im Jahr 2024 eine Publikation zu dem Thema „Einfluss der Qualität von Bauwerksvisualisierung auf Entscheidungsfindung und Qualitätsmanagement im Bauprozess“ im Rahmen einer internationalen Konferenz zu realisieren. Des Weiteren sind weitere Publikationen in Form von Konferenz- und Buchbeiträgen geplant, wie zum Beispiel „Bauwerksvisualisierungen und kognitive Wahrnehmung“ oder „Der Beitrag digitaler Bauwerksvisualisierungen zur Einführung der Digitalisierung in der Baubranche“.

---

## Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Lako, Donald (ICOM)

Klemt-Albert, Katharina (ICOM)

Projektpartner und weitere Fördermittelgeber

albert.ing GmbH

Gesellschaft für Wohnen und Bauen mbH

Hochbauamt, Landeshauptstadt Stuttgart

Kaulquappe AG

kreatiVRaum GmbH

Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr

N2M Architektur & Stadtplanung GmbH BDA

Verband für Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Niedersachsen und Bremen e.V.

W+P Workspace Consulting GmbH

WE are XR GmbH i. G.

Fachliche Betreuung

Anne Bauer (BBSR)

Referat WB 3 – Forschung und Innovation im Bauwesen, Bonn

## Abkürzungsverzeichnis

AHO	Ausschuss der Verbände und Kammern der Ingenieure und Architekten für die Honorarordnung
AP	Arbeitspaket
AR	Augmented Reality
AWF	Anwendungsfall
BIM	Building Information Modeling
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
JF	Jour fixe
LOD	Level of Detail
LOD	Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
LOIN	Level of Information Need
LoV	Level of Visualization
LoVE	Level of Visualization Exemplification
LP	Leistungsphase
MMA	Mixed Methods Ansatz
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Virtual Reality

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Vorgehensweise im Projekt (eigene Darstellung) .....	24
Abbildung 2: Projektterminplan (eigene Darstellung) .....	26
Abbildung 3: Auswertung Experteninterviews (eigene Darstellung) .....	31
Abbildung 4: Beispiel Architekturmodell (eigene Darstellung) .....	34
Abbildung 5: Beispiele eines 3D-gedruckten Modells (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 6: Empire Riverside Hotel, Hamburg – St. Pauli, Deutschland .....	36
Abbildung 7: Beispiel Virtual Reality (eigene Darstellung) .....	37
Abbildung 8: Vergleich Video-see-through und Optical-see-through .....	38
Abbildung 9: Beispiel Augmented Reality (eigene Darstellung) .....	39
Abbildung 10: Beispiel eines Bürogebäudes (eigene Darstellung).....	40
Abbildung 11: Rendering - Bötzw Brauerei, Berlin, Deutschland — Texturiertes Rendering als ,Modellfoto‘ .....	41
Abbildung 12: Rendering - Musée des Beaux-Arts, Reims, Frankreich — Umgebungsfoto mit eingesetztem Rendering .....	42
Abbildung 13: Fotomontage - Spreedreieck, Berlin, Deutschland — Collage aus Umgebungs- und Modellfoto.....	43
Abbildung 14: Beispiel einer Bauablaufsimulation (eigene Darstellung) .....	45
Abbildung 15: Umfrageergebnisse - Mehrwerte von Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung) .....	48
Abbildung 16: Umfrageergebnis - Verortung der Bauwerksvisualisierungen entlang der Wertschöpfungskette .....	51
Abbildung 17: Eignung von Visualisierungsarten in den neun Leistungsphasen der HOAI (eigene Darstellung).....	51
Abbildung 18: Ergebnisse Umfrage zur Priorisierung der Anwendungsfälle (eigene Darstellung) .....	60
Abbildung 19: Rahmenwerk zur Beschreibung von Level of Information Needs (LOIN) der EN17412 .....	66
Abbildung 20: Dimensionen von BIM-LoVE (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 21: Realität-Virtualität-Kontinuum nach <i>Milgram und Kishino</i> .....	71
Abbildung 22: Beschreibende Kriterien (eigene Darstellung).....	74

---

Abbildung 23: Übersicht objektive und subjektive Kriterien (eigene Darstellung) .....	76
Abbildung 24: Übersicht der bewertenden Kriterien inkl. Skala (eigene Darstellung) .....	78
Abbildung 25: Kerndaten zum Workshop (eigene Darstellung).....	83
Abbildung 26: 3D-Druck Beispielmodelle (eigene Darstellung).....	84
Abbildung 27: Beispiel VR-Projekt (eigene Darstellung).....	84
Abbildung 28: Beispiel Animationsfilm (eigene Darstellung) .....	85
Abbildung 29: Beispiel AR-Projekt (eigene Darstellung) .....	85
Abbildung 30: Beispiel Rendering (eigene Darstellung) .....	86
Abbildung 31: Beispiel Bauablaufsimulation (eigene Darstellung) .....	86
Abbildung 32: Bewertungsschema im Onlinetool (eigene Darstellung) .....	87
Abbildung 33: Eindrücke aus der Durchführung des Workshops (eigene Darstellung) .....	87
Abbildung 34: Auswertung der Station Animationsfilm (eigene Darstellung).....	88
Abbildung 35: Workshopergebnisse 3D-Druck, Animationsfilm und AR (eigene Darstellung) .....	90
Abbildung 36: Workshopergebnisse Bauablaufsimulation, Rendering und VR (eigene Darstellung) .....	90
Abbildung 37: Beispielhafte Auswertung des Anwendungsfalls 030 – Planungsvarianten (eigene Darstellung).....	92
Abbildung 38: Rangfolge der Qualitätskriterien für die Visualisierung „Rendering“ bei AWF 020 .....	95
Abbildung 39: Rangfolge der Qualitätskriterien für die Visualisierung „Fotomontage“ bei AWF 020 .....	95
Abbildung 40: LoV-Bewertungsmatrix (eigene Darstellung).....	103

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umfrageergebnis - Bauwerksvisualisierungen und geläufige Projekteinsätze (eigene Darstellung) .....	47
Tabelle 2: Bewertungsoptionen der Umfrage .....	55
Tabelle 3: Liste der Standardanwendungsfälle BIM Deutschland .....	58
Tabelle 4: Acht Anwendungsfälle der Priorität 1 und die zugehörigen Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung) .....	61
Tabelle 5: Acht Anwendungsfälle der Priorität 2 und die zugehörigen Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung) .....	62
Tabelle 6: Vergleich LOIN zu LoV (eigene Darstellung) .....	67
Tabelle 7: Scoring-System (eigene Darstellung) .....	92
Tabelle 8: Bewertungsschema der paarweisen Vergleiche .....	94
Tabelle 9: Bewertungsschema der paarweisen Vergleiche .....	94
Tabelle 10: Spezifikation der Qualitätskriterien Realitätsgrad (eigene Darstellung) .....	97
Tabelle 11: Punktesystem für die Bewertung der Kategorien (Qualitätskriterien 2. Ebene) (eigene Darstellung) .....	99
Tabelle 12: Beispielhafte Darstellung des anwendungsspezifischen LoV-Konzepts (eigene Darstellung) .....	102
Tabelle 13: AWF Prio 1 (eigene Darstellung) .....	104
Tabelle 14: Ermittlung der Bauwerksvisualisierung (eigene Darstellung) .....	105
Tabelle 15: Demonstrator - Ermittlung eines LoV für AWF 020 – Rendering (eigene Darstellung) .....	106
Tabelle 16: Grenzwerte des LoV-Konzepts (eigene Darstellung) .....	107

# Anhänge

## Anhang 1: Ergebnisse Literaturrecherche

Quellen	Verwendete Visualisierung	Medien	Mehrwert	Einsatz der Visualisierung	Finanzieller Aufwand	Bedienbarkeit
<b>Abualdenien, J./Borrmann, A., 2020</b>						
<b>Artikel-bft_2018</b>	keine					
<b>Ashour-Ziad_Yan-Wie_2020</b>	Augmented Reality (mit Unity)	Aus Revit erstellte FBX Datei in Unity, vgl. S. 5	Verbesserungen in Kommunikation, Produktivität, Effizienz, Management, Entscheidungsfindungsprozess, S. 2	Versteckte Bauteile auf der Baustelle sehen, vgl. S. 8; Mängelmanagement, As-built-Dokumentation, im Betrieb, vgl. S. 2; As-planned/As-built Vergleich, vgl. S. 3		
<b>Banfi-F_2019</b>	3D Survey & Virtual Reality					
<b>Bhonde_et_al_2021</b>	Virtual Reality	Escape mit Autodesk Revit (real-time link) + HTC Vive Pro, vgl. S. 7	“increase the user’s concentration on the review task and awareness of issues under analysis. In addition, when using VR, reviewers would not get distracted, discouraged, or disinterested, thus decreasing decision-making time significantly (...). Other benefits include enhanced collaboration among stakeholders (...), better spatial understanding of virtual prototypes in comparison to 2D drawings and 3D models (...), the anticipation of design decisions and identification of issues otherwise not possible (...), and prediction of human-building interactions that can provide designers with reliable user behavior data”, vgl. S. 2			“All the participants had little to no experience using VR before the experiment and were still faster at providing inputs using VR [compared to 2D and 3D plans]”, vgl. S. 15

Quellen	Verwendete Visualisierung	Medien	Mehrwert	Einsatz der Visualisierung	Finanzieller Aufwand	Bedienbarkeit
Delgado_et_al_2019	Virtual Reality, Augmented Reality, vgl. S. 1		"AR and VR can be used to engage with potential clients or with the public to provide a more realistic representation of a built asset and to generate more relevant or informed feedback.", vgl. S. 4 "aligning the stakeholders' expectations with the actual design", vgl. S. 4 "In the case of AR, the technology is better suited for visualizing renovations and retrofit works, as it combines the real environment with virtual objects", vgl. S. 4 "VR [...] is the ideal medium to immerse stakeholders into a virtual environment helping them to understand how the end-product will look like and how it will feel.", vgl. S. 4	"Six general use-cases have been characterized (...): (1) Stakeholder engagement, (2) Design support, (3) Design review, (4) Construction support, which has four sub-categories construction planning, progress monitoring, construction safety, and operative support; (5) Operations and management, and (6) Training.", S. 3 Abbildung (Fig. 2), S. 4	High investment, vgl. S. 8 "Not user-friendly" (for use case Stakeholder engagement), vgl. S. 8	"Not user-friendly" (for use case Stakeholder engagement), vgl. S. 8
Donath-Dirk Augmented Reality 2001						
Donath-Dirk 2009 Bauaufnahme		CAD & CAAD Systeme S. 13f. 2D und 3D-LinienmodellS. 15 BIM S. 20	Darstellungsgenauigkeit der CAAD Zeichnung, vgl. S. 35			Bei CAAD Systemen: „Erhöhte Aufwendungen in der Erstbeschreibung und in der Komplexität der Daten“, S. 19
Ivson-P 2020		2D CAD: schematische Zeichnungen, Blaupausen, Karten 3D CAD, vgl. S. 4 Virtual und Augmented Reality, S. 14	- Verbesserung des Verständnisses und Aufzeigen von Unregelmäßigkeiten in Bauplänen. Vgl. S. 2 - VR ermöglicht es Bauplanern, Probleme aufzudecken und gemeinsam Verbesserungen zu finden. Vgl. S. 14	- Vor allem in der Bauplanung und Konstruktionsdetaillierung aber auch in der Konstruktion, Herstellung und Beschaffung - Steigende Nützlichkeit von BIM in der Design Entwicklung - Steigendes Interesse der Nutzung von BIM in der Sustainability Analysis - Wichtigsten Use Cases: Aufgabenplanung & Progress Tracking. Vgl. S. 6		
Kumar-Abishek 2020	Virtual Reality	Software Unreal Engine				
Mitchell-Kareem 2019 Interactive..						

Quellen	Verwendete Visualisierung	Medien	Mehrwert	Einsatz der Visualisierung	Finanzieller Aufwand	Bedienbarkeit
Mitchell-Kareem_2019_The Use of Game Engines		game engine platforms (Unity3D, Unreal Engine 4 and Twin motion), S. 1	Visualisierungsprogramme bieten einfache Tools für die Modell-darstellung und Videoerstellung während game engines zweckbestimmte Interaktionen vereinfachen. Vgl. S. 4 --> aber Twin motion ebenfalls eine game engine, die ein Tool für die Modellbetrachtung darstellt. S. 4			
Petzold-Frank_BIM und Bauen im Bestand_2021		BIM-Systeme Vgl. S. 2 CAD-Zeichnung oder semantisches Modell (BIM) S. 5	Verbesserung der Informationsverarbeitung. Vgl. S. 2, dadurch auch sichere Planung, „Kostensicherheit von Revitalisierungs- und Sanierungsprojekten.“ S. 2	Bauen im Bestand (BiB) S. 2 Modellbildung in der Bauaufnahme. Vgl. S. 5		Notwendigkeit von „Fachwissen über strukturelle Zusammenhänge“. S. 5
Werbrouck_2020	Laserscan (Punktwolke), "Scan-to-BIM" (Fokus aber Semantic Web, keine Visualisierung!)			Änderungen im Modell im Facility Management, Bestandserfassung, vgl. S. 2		
Horts-Kremers_Digital-Cultural-Heritage	Augmented Reality		Pedagogical Approaches to Enhance Visitors' Experience and Knowledge Transfer	AR Tourism applications, Real-life city tour		
	Photogrammetric Methods of Visual Knowledge Generation			photography along with textual information about these photos as well as the depicted buildings		
	4D-Browser			spatial and temporal located searches		
	3D-Printing			restauration of damaged or losts parts from cultural objects		
	Web-based viewer			comparison, juxtaposition of pictures (point cloud model vs low-polygonal model)		
	3D-scanning	(ScanStudio)				
	Matcap Rendering	(Sketchfab)				
		Laser triangulation				
	2D models	Photometric stereo (PS)				
	2,5D models	Structure from Motion (SfM)				
		Computer Tomography				
	Data visualization					
	3D models	Scanning	Georeferenced Map	User Map Applications		
	AR and VR			360 degree panoramic view		

Quellen	Verwendete Visualisierung	Medien	Mehrwert	Einsatz der Visualisierung	Finanzieller Aufwand	Bedienbarkeit
	3D models			The 3D reconstruction of historic buildings, monuments and archaeological sites is useful to store data, visualize interpretations in order to verify their accuracy, and to restore the aspect of our cultural heritage that has been destroyed by the flow of time and by human's negligence		
	Acoustic 3D model		computer based visualization of sounds	digital acoustic heritage		
Wang, X. Augmented Reality in Architecture and Design	Augmented Reality		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Collaborative Augmented Reality: Möglichkeit von kollaborativen Aktivitäten: Mehrere User können das virtuelle Modell gleichzeitig betrachten, darüber diskutieren, interagieren. Vgl. S. 317f.</li> <li>- Vermittlung zwischen Mensch-Mensch Interaktion, Kommunikation Vgl. S. 318</li> <li>- Integration von Design in das real as-built environment. Vgl. S. 319</li> </ul>			

## Anhang 2: Interviews

### Interviews – albert.ing GmbH | Johannes Schiffmann

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

#### Mögliche Konflikte zum Thema Visualisierung in Projekten

Viele Vorteile bei Visualisierung, Zweck, Aufwand, Kosten, Rechtfertigung des Nutzens von Visualisierung gegenüber Projektleitung und AG

2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Bei Albert.Ing keine Erstellung, aber Arbeit mit Visualisierung bei Wettbewerb du auch bei späteren Leistungsphasen – Variantenuntersuchung z. B.: Fassade, Materialien (3D-Modelle, fotorealistische Renderings)

3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

#### Albert.Ing erstellt keine Visualisierungen

4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

Es existieren keine büroübergreifenden Vorgaben, sondern projektspezifisch in den AIA:

Beispiel am Projekt: Visualisierung sind für alle LPs von AG, aber Vorgaben kommen auch von AG und nicht bei Albert.Ing definiert

5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

Nein: Keine offizielle Orientierungshilfe hierzu

6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

- Weniger Konflikte zwischen AG und AN => Unterschied zwischen Forderung und Liefergegenständen
- Bauliche Konflikte früher erkennen, bevor es auf der Baustelle festgestellt wird
- Klarheit bei der Vermittlung von Entwurfsideen, insbesondere in der Kommunikation mit Laien

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

- Keine Erfahrung für die Ausschreibung von Visualisierungsleistungen da Albert.Ing nicht an den Ausschreibungsverfahren beteiligt ist

#### **Anmerkungen:**

---

Interviews – Architektenkammer Niedersachsen | N2M Architektur & Stadtplanung GmbH | Michael Sauer

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?
  - Sensibilisierung über BIM-Thematik durch BIM-Cluster
  - BIM-Methode als Standard, und sehr spannend, die Digitalisierung in der Baubranche zu haben
  - BIM-Arbeit => 3D-Modell => Visualisierung, und dadurch mehr Synergie erzeugen und die Arbeit vereinfachen
2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?
  - Verwendung der Visualisierung für Wettbewerbe, Projektbesprechung mit anderem Partner, mit Erweiterung auch bei Bauanträgen insbesondere bei städtebaulichen Projekten
  - Art: Fotorealistentes Rendering (Wettbewerb, Bauantrag), schematisches Modell, um Raumsituation kurz darzustellen (Projektbesprechungen)
  - Architektenmodell aus Holz und Styrodur als gängiges Arbeitsmodell insbesondere bei städtebaulichen Projekten
  - Noch nicht VR oder AR, aber evtl. für die Zukunft denkbar
3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)
  - Arbeit mit Mac Books als Hardware
  - Software: VectorWorks (Modellerstellung) => Externe Firma für Rendering oder selbst rendern und dann mit Photoshop bearbeiten. Renderings direkt aus VectorWorks
  - Über Newsletter: Clouddienst => Rendering in der Cloud durch Einsatz vernetzte Rechner um den Umfang zu reduzieren
4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?
  - Einzelfall bezogen, aber es gibt keine Vorgaben zur Visualisierung, projektspezifisch definiert
  - Vorgaben zur Modellerstellung
5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)
  - Visualisierungsbezogen: nein
  - Modellierung => Aus Erfahrung durch Zusammenarbeit mit Partner, aber noch nie feste Vorgaben aus einem AG
6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?
  - Bessere Verständlichkeit vom Projekt (besseres Raumgefühl vermitteln)

- 
- Materialität (Textur von Materialien im Projekt)
  - Gute Entscheidungsgrundlage und Kommunikationswerkzeug mit AG und anderen Fachplanern
7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?
- Zusammenkommen / Zusammenspiel mit einem festen Partner => von Anfang an die Qualität durch Abstimmung definiert und diese wird konsistent bei verschiedenen Projekten eingesetzt
  - Pauschalangebot von Visualisierung, aber ohne konkrete AG-Vorgaben

**Anmerkungen:**

## Interviews – David Chipperfield

### 1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Interesse der BIM-Alliance: Mitwirkung an sinnvollen Standards (Umsetzbarkeit, Einheitlichkeit, Offenheit, Austausch erleichtern mit AG, AW-Fälle, Datenaustausch entwickeln), nicht zu viel, und nicht die Freiheit des Arbeitens eingrenzen, Standards, die gewinnbringend sind

### 2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

BIM-Alliance = Gremien / Lobbyarbeit => Als Chipperfield: Inhouse Visualisierung mit Deckung möglichst alle Fragestellungen damals, und jetzt viel mehr Outsourcing dieser Leistung

### 3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

Verschiedene Wege:

- 3DS Max Erstellung (Bearbeitung, Textur) => Bei V-Ray und Corona als Rendering Tools (Simulationen, Licht, etc.) (Planung bei Microstation)
- ArchiCAD für die Erstellung und Rhino (schnelle Bilderstellung für Inhouse-Zwecke)
- Renderings sonst immer V-Ray und Corona
- Echtzeit-Rendering aus Twinmotion (Grundlage ArchiCAD) auch für VR-Anwendungen
- Unreal Engines (sehr aufwendig)
- Photoshop oder Illustrator als schnelle Möglichkeit
- Digitale Skizze (auf Tablets)

### 4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

Interne Kategorisierung und Vorgaben in Bezug auf Daten, Visualisierung

Grobe Beschreibung zu Prozessabläufen (wann visualisieren, welche Informationen, projektspezifische Vorgaben)

Internes Handbuch mit allen vorherigen Visualisierungen als Entscheidungsgrundlage für neue Projekte (Hilfestellung)

Sowohl terminliche als auch qualitative Standards existieren nicht

### 5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

Inhärent/Indirekt Rolle/Bezug von LOD (LOIN und LOG) in Erstellung von Visualisierung, (Visualisierung = Detaillierungsgrade), aber immer projektspezifisch

### 6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

Kommunikationsmittel (intern in der Orga und extern mit AG), bessere Darstellung bei Wettbewerb, Bauzustände reflektieren

Verknüpfung mit Simulationen, Interaktion und Diskussion mit Visualisierung als Grundlage, Vergleich von Bauständen, (VR und AR), Maintenance im Betrieb

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

Ja, Visualisierung als Leistung angeboten (ungefähre Matrix für die Beschreibung der Visualisierungsleistungen und AWF für die Beschreibung)

Anmerkung:

- Keine Fortschreibung der Arbeitsweise, sondern eine Hilfestellung
- Mit Visualisierung, Gefahr dass AG schon viele Details ändert und dass virtuell nicht mit real übereinstimmt

---

## Interviews – BIM-Cluster Baden-Württemberg Markus Eiberger

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

### Austausch und Verstetigung von Standard

2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

In vers. Anwendungen (Projektarbeit alle LPH, Öffentlichkeitsarbeit, Besprechungen etc.)

8. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

Individuell, da wir vorrangig im Projektmanagement tätig sind, passen wir unser Vorgehen der Arbeitsweise des Planungsteams auch an

9. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

Klar im Bereich des Hochbaus. Aber auch hier sind Empfehlungen zur Anwendung technischer Natur. KGR 300 arbeitet vorrangig mit MicroStation partiell Revit – dementsprechend werden vorrangig die Formate zur Visualisierung verwendet, welche den Arbeitsabläufen und Schnittstellen entgegenkommen

10. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

Kann ich nicht universell beantworten

11. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

- Reduzierung von Komplexitäten
- Einbindung nicht Ingenieuren o. Architekten zur Entscheidungsfindung
- Einbindung Stakeholder

12. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

- Die Ausschreibung sollte nicht einzig diesen Punkt beinhalten
- Die Visualisierung ist ein Baustein, nachrangig aber weiteren Schwerpunkten (Genehmigungsfähig, Umsetzbarkeit, Betriebsoptimal). Die Visualisierung sollte ein Instrument der Kommunikation sein, nicht als ein Prüfstein der Technischen Lösung verstanden werden
- Vereinfachung und Transparenz zur Leistungserbringung resp. des Liefergegenstandes
- **Anmerkungen:**

---

## Interviews – BIM-Cluster Niedersachsen | Prof. Pfeiffer

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?
  - Im Gespräch mit Ingenieurbüro, erwartete Qualität bei Visualisierung, Detaillierung von Visualisierung je nach Stelle, Phase, Sinnvolle Differenzierung von Detaillierung der Visualisierung nach Bedarf (Projekt, Bauwerke, Materiale, Bereiche)
2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Im Büro weniger mit Architektenmodell, sondern Tragwerksplanung. Zusammenarbeit mit Architekten => Modelle als Zusatz-Informationsquelle

3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)
  - Nicht im Leistungsspektrum
4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?
  - Keine Vorgaben / Anforderung in Bezug auf Visualisierung
5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)
  - NEIN
6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?
  - Je näher realitätsnah, desto einfacher in der Kommunikation mit Kunde (Laien)
  - Bessere Darstellung für Laien
  - Bei Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Gewerken, viele Informationen werden mitgeteilt und der Mensch kann mit Augen sehr viel und schnell Informationen aufnehmen
7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?
  - Keine Erfahrung mit Ausschreibung von Visualisierungsleistungen

### **Anmerkungen:**

-

## Interviews – Fraunhofer IAO Arbeitswirtschaft und Organisation

### 1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Sehr hohen Aufwand in Visualisierungsprojekt

Mangel an Standard

Undefinierte Qualität der Daten

Klare Ausgangslage um eine standardisierte Visualisierungsleistung zu haben und in der Kommunikation

Bei der Vorbereitung und Durchführung von Projekten, spielt es eine große Rolle in der Abstimmung mit AG

### 2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

In früheren Projektphasen => Modellen aus 3D Studiomax (war damals die Hauptquelle vor BIM-Modellen)

Heutzutage Anfrage für Modelle mit Umgebung (Stadtmöblierung) als 3DS Modell und dann kann es als FPX exportiert und dann in Game Engines integriert werden  
Quelle für Vegetation, weil diese Daten qualitativ nicht gut aus Modellen zu übernehmen (Bibliotheken in 3D Studiomax, meisten im FPX-Format)

### 3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

Visualisierungen aus BIM-Umfeld aber

Visualisierungssysteme: Game Engines => Unity, Unreal

Herstellungsformate: FPX, IFC

Aus IFC => in Unity einbinden => Visual

Export => Optimierung => Aufbau Session (VR + AR in Unity) Kommunikation via BCF

Aufbau Session:

- Vorbereitung der Visualisierung
- Aufbereitung und Export für Tablets

Visualisierungssystem: XR-Visualizer (quick and dirty) Grundlage Dateiname (Frei verfügbar und einfach Möglichkeit, um schnell Daten auf eine AR-Brille zu spielen) (Kann man bei IAO anfragen)

### 4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

IAO sind Dienstleister => richten sich an Projektanforderungen => Manchmal Beratung erfolgt, wo die Anforderungen mit im Projekt definiert werden (in den AIAs)

### 5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

---

Anforderungen lieber projektspezifisch definiert. Immer in der Runde mit allen Beteiligten zu definieren

6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

Effizienz der Kommunikation, Qualität der Kommunikation (weniger Missverständnisse, klare Absprache / Entscheidungsgrundlage), allgemeine Beteiligung von Nutzer => Höhere Akzeptanz

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

Nicht direkt daran beteiligt, eher Unterstützung

## Interviews – Gewo nordhorn | Reno Schütt

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Neugierig auf BIM-LoVE, Keine Erwartungen

2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Heute schon 3D-Abbildungen auf Grundlage von Grundrissen und Höhe, für Aufsichtsrat und andere Stakeholder. Vor 2,5 Jahre nur für Neubauten, VR mit Oculus-Brille, Spielkonsole als Betriebsebene (Unity), komplette immersive Erfahrung, um Bauelemente in der echten Größe vorzustellen

3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

Erstmal 3D-Modell durch ...

VR: Oculus-Brille (wird ständig aktualisiert, Betriebsebene UNITY)

Aufnahme: durch Drohnen und dann Aufbereitung für Visualisierung, Card-holder (um mit Handy durch 3D-Modell zu gehen – ähnlich wie 3D-Brillen)

4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

- Vorgaben: 4K oder 8K
- Weitere Vorgaben immer von Projektstand abhängig (früh nur Innenbereich von Wohnung und bei späterer Phase innen und außen)
- Einrichtung im Projekt muss in der Visualisierung auch vorhanden sein

5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

NEIN Keine

6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

- Bessere Kommunikation mit nicht bauaffinem Stakeholder
- Klarheit über Endziel von Projekt (Objekt in der Erstellung)

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

- EliteCAD (Zeichnung und Visualisierung in 1 Produkt) & Visual ME (nur Visualisierung auf Grundlage dxf Datei – Zeichnung von GEWO) als Anbieter für Visualisierung
- Partnerschaft mit Visual ME aus Hannover, also keine Ausschreibung von Visualisierungsleistungen

### **Anmerkungen:**

-

---

## Interviews – Landeshauptstadt Stuttgart | Hochbauamt

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?
  - Definition von Visualisierung als AW-Fall
  - Definition von Vorgaben zur Visualisierung
  - Klare Kommunikation / Verständnisse für Laien / einheitliche Sprache bei allen Projektbeteiligten
  - Höhere Akzeptanz beim Bauen (Neubau oder im Bestand)
  - Klare Zielsetzung im Projekt (Medium, Detaillierung, Ausfertigung, Qualität), um die Leistung besser zu beschreiben / vergüten (bei Verhandlungsgesprächen)
  - Bedarf an eine Norm / Katalog zur Visualisierung
2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?
  - Als AG (Adressat) => bei VgV-Verfahren und Architekten-Wettbewerb. Hilft, um die Angebote zu bewerten
  - Varianten-Untersuchung durch Visualisierung (von Architekten in niedriger Qualität)
  - Visualisierung als Mittel der Kommunikation auf Baustelle mit Nachbarschaften (Auflistung von Bauvorhaben mit Hilfe von Visualisierung auf Webseite)
  - Einheitliche Sprache definieren, um zu vermeiden, dass die beste Visualisierung gewinnt, sondern besserer Architekt
  - Rahmen definieren, um die monetäre Dimension zu begrenzen, und Vorgaben, um Visualisierungen zu machen (Materialien, Beleuchtung, usw.), um die Qualität zu bewerten
3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)
  - Jetzt als Hochbauamt werden keine Visualisierungen inhouse erstellt, aber evtl. in der Zukunft
  - Wenn Grundlage (gut gebaute Modelle) da ist, wäre es denkbar und kostengünstig interessant
  - Im Szenario, wo es inhouse gemacht wird: 3D-StudioMax, Photoshop, (VR) Lumion
4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

Bei einem Projekt:

  - Das 3D-Modell dient der Visualisierung und soll für Zwecke der Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden. Dazu soll das Gesamtmodell zu bestimmten Zeitpunkten fotorealistisch gerendert dargestellt werden

- Im Zuge der Planungsphase soll das Planungsmodell in einem Cave-System durch den Auftraggeber begehbar sein. Hierfür sind die Modelldaten in einem geeigneten Format (.ifc) bereitzustellen. Das Cave-System wird durch den AG ausgewählt und bereitgestellt. Die virtuelle Begehung dient der fundierten Entscheidungsfindung sowie der Nutzerintegration & Öffentlichkeitsarbeit
  - Des Weiteren wird die Darstellung ausgewählter Planungsstände in einer VR-Brille angestrebt. Hierfür soll ebenfalls das Format .ifc verwendet werden
  - Für die Darstellung der Planung in Gremien und zur Verwendung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit soll eine virtuelle Befliegung & Begehung des Planungsmodells als Kurzfilm erzeugt werden. Dazu soll das Bauwerk samt der näheren Umgebung fotorealistisch gerendert und angemessen animiert werden. Hierzu erfolgen weitere Detailabstimmungen mit dem AG
5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)
- Externer Vorschlag vom externen BIM-Manager
6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?
- Höhere Akzeptanz
  - Bessere Kommunikation
  - Weniger Missverständnisse
  - Planungsqualität
7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?
- Außer aus dem Beispielprojekt, keine Erfahrung, da das Hochbauamt diese Leistungen einzeln nicht ausschreibt

**Anmerkungen:**

-

---

## Interviews – Kaulquappe AG | Timo Kaufmann

### 1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Bedarf: Anforderungen an Visualisierung standardisieren, Leitfaden / Handreichung zur Definition von Visualisierung für AG mit Anforderungen (Medium zur Darstellung, Erstellungstiefe, usw.)

### 2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Kaulquappe nutzt keine Visualisierung (erstellt keine), nutzt was aus der CDE rausgegeben wird

BIM-GesamtKoor => in diesem Rahmen Kollisionsprüfung und Qualitätsprüfung

### 3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

CDE = BIG (Building Information Grid): also alles im CDE / Cloud (BCF) für die Kommunikation

### 4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

Anforderungen an LOG und LOIN aber keine Vorgaben an Visualisierung, alles kommt aus Modellen von Planern, und wird nicht vorher festgelegt

### 5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

Projektspezifisch definiert, aber immer nur an die Modellerstellung, keine Vorgaben an Visualisierung

### 6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

- Verständliche und realitätsnahe Repräsentation von Planungsständen
- Weniger Missverständnisse, klare Kommunikation
- Einfache Verständnisse für fachliche Laien
- Nutzerintegration (einfachere Feedback | Bemusterung) => Käufer, Mieter, Nutzer

### 7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

- Im Projekt werden immer angefragt Visualisierungen zu erstellen „Mitwirkung bei der Erstellung von Visualisierungen“, aber keine konkreten Anforderungen an Qualität, Medium, Darstellung, usw.
- Fehlender Blick über Mehrwerte von Visualisierungen und sich daraus ergebenden Notwendigkeiten an Qualitätsanforderungen

### **Anmerkungen:**

-

---

## Interviews – KreativRaum GmbH

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken? (Deckt sich mit Frage 7)

In der Interaktion mit Kunden, Kommunikation in der Qualität der Visualisierung?  
Kategorisierung der Visualisierung und standardisierte Leistungen

2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

KreativRaum hat sich auf qualitativ hochwertige Visualisierung (Architekten  
Visualisierung, Produktvisualisierung, Interaktiv), Produkt im Gebäude

Kombinierung von Produkten und Architektur interaktiv für den Kunden

Erstellung eines virtuellen Raums

3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software,  
Hardware)

Unreal Engines von Epic Games => Plug-Ins entwickelt

Visualisierung aus CAD-Programm (meistens IFC), sonst Herstellerformate (RVT,  
ARCH, ...) Aber mit so viel wie möglich Metadaten

4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von  
Visualisierungen?

Noch kein Standard, weil die Qualität der Input (IFC oder RVT) sehr unterschiedlich,  
Datenqualität

5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

Noch keine Orientierung auf die bestehenden Standards, sondern immer  
projektspezifisch

6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

Kunde: große Bauträger, Architekten, Bauunternehmer, Hersteller von Produkten  
(Medizintechnisch, komplexes Küchen-Mobiliar)

Entscheidungsprozesse werden einfacher, Entwurf interaktiv, weniger Revisionen,  
mehr Sicherheit, Transparenz in Bemusterung, Transparenz in der Preisfindung,  
einfache Kommunikation, Changemanagement => Emotionale Überzeugung von  
Nutzer und Mitarbeiter

Komplette Bemusterungsprotokolle erstellen (alles, was sich angepasst und direkte  
Einflüsse auf Kosten und Qualität)

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen  
gemacht?

Keine Beteiligung an Ausschreibung, aber sehr viel Potenzial noch zu nutzen in der  
Branche (Architekt)



Interviews – Verband der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Niedersachsen und Bremen e. V.

1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Im Verband 180 Unternehmen, 400.000 Wohnungen im Bestand und andere im Neubau. Sozial orientierter Verband (kostengünstige Wohnungen)

- Effizienzsteigerung bei Vermietungsprozess für den Bestand und Neubauten (schwierige Situation wegen nicht vor Ort-Besichtigungen, wegen heutigen Hygienegründen – Corona)
- Weniger wirtschaftliche

2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Als Verband wenige Berührungspunkte mit Visualisierung

Als Architekt, Visualisierung im Planungsprozess stehen den größten Vorteilen und Einsätze

Einführung digitaler Vermietungsprozesse

3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

-

4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

- Keine Erfahrung, es gibt keine gestellten Vorgaben
- Theoretisch: das Umfeld auch darstellen (realistisch), bei der Vorstellung für Vermietungsprozess schon realistisch mit echten Objekten und Materialien

5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

Mit GEWO, erste Erfahrung positiv, guter erster Eindruck durch VR-Brille, nicht alle Nutzer sind bauaffin

- größte Akzeptanz von neuen Projekten
- Nachverdichtung im Bau => Bauen im Bestand und Einfluss auf Nachbarbauten => Bessere Kommunikation und Akzeptanz / Beteiligung der Nachbarschaften

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

- Keine Erfahrung

**Anmerkungen:**

-

---

## Interviews – Wagner and Partner | Roman Wagner

### 1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Definitionsproblematik in Bezug auf Standard der Visualisierung, beim Kunden gibt es keine Bereitschaft für Visualisierung zu bezahlen (nicht gesehen als separate Leistung), Schnittstellendefinition für die Zusammenarbeit mit anderem Partner in Projekten (Zuständigkeit für Innengestaltung/Innenraum)

### 2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Wurde in der Vergangenheit oft gemacht, aber mit zunehmender Digitalisierung nimmt es ab; damals für Interaktion zwischen Partner (Nutzergruppe) um Ergebnisse in Workshops zu visualisieren und besprechen

### 3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

Software: Vectorworks als CAD-Programm, Photoshop für Bearbeitung, und Rendering mit Atlantis, mit Freelancer für interaktive Visualisierung (Walktroughs mit Unreal Engine), Piconainer für Mobiliar

3D-Modell wird mit Vectorworks erstellt und dann (z. B.) durch Freelancer weiter aufbereitet für den Walktrough

### 4. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

#### ➤ Büro-Intern: 3 Stufen

- Einfach (Gittermodell, und dann mit Photoshop oder per Hand weiter vorbereitet)
- Mittel (klassische 3D-Visualisierung aus Vectorworks mit einfachem Rendering)
- High-End (alles, was mehr Interaktivität – bietet Möglichkeiten Materialien, Farben und Mobiliar zu tauschen usw. - Fotorealistisches Rendering oder VR-Brillen für Walkthrough mit Unreal Engines)

### 5. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

NEIN

### 6. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

- Beschleunigung im Entscheidungsprozess, insbesondere, wenn Entscheidung nicht nur in einer Hand liegt
- Kommunikation intern zwischen Kollegen
- Kollisionsprüfung einfacher und visueller darstellen
- Bemusterungsprozess

7. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?
- NEIN, es gibt feste Partner, von daher kein Bedarf an Ausschreibung der Leistungen

**Anmerkungen:**

## Interviews – ZÜBLIN | Brigitte Wichert

### 1. Was ist Ihre Motivation in dem Projekt mitzuwirken?

Seit 2010 bei Strabag in Thema Visualisierung (Ursprung bei 3D-Animation)

Interesse für die Ausschreibung von Visualisierungsleistungen intern sowie extern.

### 2. Verwenden Sie Architektur-Visualisierungen? Wenn ja, wofür und welcher Art?

Architektur-Visualisierung für die Entwurfsphase und Angebotsphase am stärksten; in der Bauausführung eher in der Kommunikation, und Betriebsphase mit VR und AR.

### 3. Wie gehen Sie bei der Erstellung von Visualisierungen vor? (Software, Hardware)

4. Erstellung durch Revit, Enscape, Maya, 3DS Max, Unreal Engine (AR), Unity Engine (VR), BIM 360

### 5. Existieren in Ihrem Büro oder einem Projekt Vorgaben zur Verwendung von Visualisierungen?

- Noch keine Standardvorgabe, immer projektspezifisch
- Immer von AG und Projektphase definiert, wenn es gefördert wird

### 6. (Nachfrage: Orientieren Sie sich dabei an bestehenden Vorgaben?)

NEIN, von Projekt oder Projektbeteiligten

### 7. Welche Mehrwerte erkennen Sie beim Einsatz von Visualisierungen im Projekt?

- Kommunikation erleichtert, Missverständnisse früh vermieden
- Abstimmung mit Stakeholdern
- Einheitliches Verständnis

### 8. Haben Sie Erfahrungen mit der Ausschreibung von Visualisierungsleistungen gemacht?

- Von öffentlicher Hand, Ausschreibung von VR-Leistungen zur Bürgerbeteiligung, GIS-Thematik

### **Anmerkungen:**

-

## Anhang 3: Auswertung der Interviews

Kategorie	Genannte Antworten	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	Anzahl	Gesamt	Prozent
Motivation im Projekt	Entwicklung eines Standards (Qualitätsanforderung)			x	x	x	x	x	x				x	7	12	58%
	Interesse an Zusammenarbeit mit anderen			x	x									2	12	17%
	Standardisierte Leistung (-sbeschreibung)						x	x	x	x			x	5	12	42%
	Relevanz für Abstimmung mit AG	x					x							2	12	17%
	Effizienzsteigerung der geschäftlichen Abläufe	x									x			2	12	17%
Verwendung von Architekturvisualisierungen	Variantenuntersuchung							x						1	12	8%
	Als Grundlage für Projektbesprechungen	x			x	x						x	x	5	12	42%
	Verwendung für Bauanträge	x												1	12	8%
	Öffentlichkeitsarbeit				x									1	12	8%
Visualisierungsarten	Architekturmodell	x				x								2	12	17%
	Fotorealistisches Rendering	x	x										x	2	12	17%
	VR									x			x	1	12	8%
	3D-Modelle						x						x	1	12	8%
Visualisierungsmedien - Eingabemedium	Visualisierung aus CAD-Programm/ Modellierungssoftware	x	x							x			x	4	7	57%
	Photoshop	x	x					x					x	4	7	57%
Visualisierungsmedien - Ausgabemedium	Game Engine (Unity/Unreal), Kombination AR/VR			x			x			x			x	4	7	57%
	CDE (Model Viewer)								x					1	7	14%
	Lumion							x						1	7	14%
Visualisierungseingabeformat														0	7	0%
Visualisierungsformate - Ausgabeformat	IFC-Dateien						x			x				2	7	29%
Existierende Vorgaben	Betriebsintern			x	x								x	3	11	27%
	Projektintern (Projektspezifisch)	x	x		x		x	x	x	x			x	8	11	73%
	Betriebsübergreifend													0	11	0%
Mehrwert Visualisierungen	Effizienz der Kommunikation	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	11	12	92%
	Einbindung/Akzeptanz des Nutzers						x	x	x	x	x	x	x	7	12	58%
	Entscheidungsprozesse vereinfachen				x					x			x	3	12	25%
	Realitätsnahe Darstellung / Besseres Verständnis	x	x		x	x		x	x				x	7	12	58%
Ausschreibungen von Visualisierungsleistungen	Perspektive Auftraggeber													0	12	0%
	Perspektive Auftragnehmer		x	x	x				x					4	12	33%

## Anhang 4: BIM-LoVE-Glossar

### **Allgemein**

#### **BIM-Viewer**

„Software zur Betrachtung und teilweise auch Auswertung von Bauwerksmodellen, ohne die Funktionalität dieser zu ändern.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

#### **Dimensionen**

Eine Dimension stellt die physische Ausdehnung (nach Länge, Breite und Höhe) oder Ausmaß (im Hinblick auf seine räumliche, zeitliche, begriffliche Erfassbarkeit) eines Körpers oder Objekts dar.

In diesem Projekt könnten die Dimensionen als Indikatoren zur Beschreibung und Kategorisierung einer Bauwerksvisualisierung betrachtet werden.

#### **Domäne**

„fach-, gewerke-, disziplin- oder systemspezifische Sicht auf Daten, die technische Systeme des Bauwerks oder die wirtschaftlichen Systeme seiner Erstellung (Fachgebiete), die Fachdisziplinen der Projektteilnehmer (Anwenderdomänen) und die von ihnen genutzten Sichten auf die Projektdaten (Anwendungsdomänen) betrachten.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

#### **Alphanumerische Bauwerksvisualisierung**

Alphanumerische Informationen sind Sachdaten von Flächen, technischen Anlagen, bauphysikalischen Anforderungen und der Statik von Gebäuden. Die Sachdaten werden in Datenbanken strukturiert und in ein BIM-Modell eingepflegt. Diese alphanumerischen Informationen können mithilfe von Visualisierungen grafisch dargestellt werden.

*Alphanumerische Daten (o. J.) gefma.de URL: <https://www.gefma.de/glossar/glossar-popup/news/alphanumerische-daten/> (Zugriff am 13.11.22).*

#### **As-built-Modell**

„im Zuge der Ausführung aufgenommenes, angepasstes Bauwerks-Informationen-Modell, das den Istzustand bis zum definierten Detaillierungsgrad und im vereinbarten Umfang widerspiegelt“

Anmerkung: Das As-built-Modell kann als Grundlage für das Betreibermodell dienen.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Bauwerks-Informations-Modell**

„objektbasierte digitale Abbildung der physischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks“  
Anmerkung: Es wird bei dem Begriff „Bauwerks-Informations-Modell“ von einem koordinierten Gesamtmodell ausgegangen, das sich aus einem oder mehreren Fach- und Teilmodellen einzelner beteiligter Fachplaner (Architekturmodell, Tragwerksmodell, TGA-Modell usw.) zusammensetzt. Das Bauwerks-Informations-Modell ist in der Regel zentraler BIM-Bestandteil.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Bauwerksinformationsmodellierung BIM (engl.: Building Information Modeling)**

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“

*Stufenplan Digitales Planen und Bauen des BMVI vom 15.12.2015.*

„Nutzung einer untereinander zur Verfügung gestellten digitalen Repräsentation eines Assets zur Unterstützung von Planungs-, Bau- und Betriebsprozessen als zuverlässige Entscheidungsgrundlage.“

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den baulichen Assets gehören unter anderem Gebäude, Brücken, Straßen und Prozessanlagen.

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Bauwerksvisualisierung**

Eine Bauwerksvisualisierung ist ein virtuelles oder physisches Abbild eines Bauwerks bzw. eine optische Veranschaulichung von Bauwerksinformationen.

### **Daten**

„formalisierte Darstellung von Information, geeignet zur Kommunikation, Interpretation oder Verarbeitung.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Datenaustauschscenario**

Prozess an einem definierten Zeitpunkt, zu dem Daten zwischen Beteiligten ausgetauscht werden  
Anmerkung: Ein Datenaustauschscenario kann eine oder mehrere Austauschforderungen enthalten.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Extended Reality**

„**Extended Reality / Erweiterte Realität (XR)** bezieht sich auf alle kombinierten realen und virtuellen Umgebungen und Mensch-Maschine-Interaktionen, ist also zuzusagen das ‚**Sammelbecken**‘ für repräsentative Formen wie Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) sowie die zwischen ihnen interpolierten Bereiche. Erzeugt werden diese durch Computertechnologie und Wearables. **XR bietet ein Erlebnis für die Sinne.** Die Linie zwischen Realität und simulierter Welt verschwimmt, da man visuell, akustisch oder auch haptisch in eine andere Welt eintaucht.“

*XR, AR, VR, MR – hinter Abkürzungen verbergen sich Welten (o. J.) Hyve.net URL: <https://www.hyve.net/de/blog/all-about-virtual-reality/> (Zugriff am 09.05.22)*

### **Flächenmodell**

„Form des Geometriemodells, bei dem der geometrische Körper anhand begrenzender Flächen beschrieben wird.“

Anmerkung: Durch dieses Verfahren können offene Geometrien entstehen, die eine direkte Volumenberechnung nicht erlauben. Das Flächenmodell ist ein Modelltyp, der insbesondere zur Visualisierung von Infrastrukturmodellen (z. B. für digitale Geländemodelle) zur Anwendung kommt. Objekte werden dabei durch häufig nicht geschlossene Dreiecksnetze bzw. -horizonte im 3-D-Raum beschrieben.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Industry Foundation Classes (IFC)**

„herstellerunabhängiges, offenes Datenmodell (Datenaustauschformat) zum Austausch von modellbasierten Daten und Informationen in allen Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsphasen.“

Anmerkung: buildingSMART International entwickelt und etabliert Industry Foundation Classes als offenen, internationalen Standard für das Bauwesen. Industry Foundation Classes ist in DIN EN ISO 16739 als internationaler Standard definiert.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Informationsbestellung**

„Vereinbarung über die Bereitstellung von Informationen (3.3.1), die Arbeiten, Waren oder Dienstleistungen betreffen. Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff wird verwendet, unabhängig davon, ob es eine formale Vereinbarung zwischen den Parteien gibt oder nicht.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Informationsbedarfstiefe LOIN (engl.: Level of Information Need)**

„Vorgabe, die den Umfang und die Anzahl der Untergliederung der Informationen definiert. Anmerkung 1 zum Begriff: Eines der Ziele der Definition der Informationsbedarfstiefe ist, die Bereitstellung von zu vielen Informationen zu verhindern.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Interaktion**

„Handlungen zwischen zwei Rollen, die für das Zustandekommen einer Informationslieferung zur Erfüllung der vordefinierten Auftraggeber-Informations-Anforderungen relevant sind.“

Anmerkung: Eine Interaktion kann innerhalb einer Phase oder über mehrere Projektphasen hinweg stattfinden. Die Interaktionen können wiederholt werden.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Kanäle**

Ein Kanal ist in der Kommunikation ein Träger, ein „Container“ um eine Nachricht von Sender:in zu Empfänger:in zu übermitteln.

**Laserscanning**

„dreidimensionales berührungsloses Aufmaßverfahren, bei dem die Umgebung durch einen rotierenden Laser rasterförmig abgetastet wird, wodurch ein fein aufgelöstes Abbild der Oberfläche entsteht.“

Anmerkung: Aus den gewonnenen Daten (Punktwolke) lassen sich beispielsweise verformungstreue Pläne oder 3-D-Modelle ableiten (siehe auch As-built-Modell und Bestandsmodell).“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Metadaten**

„Strukturierte Daten, die Informationen über Merkmale anderer Daten enthalten.“ In diesem Projekt wären hier Objektattributen darunter zu verstehen.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Mixed Reality**

„Mixed Reality (MR) ist ein Kontinuum, welches sich zwischen der Realität und der Virtualität (virtuellen Realität) erstreckt, wobei der Anteil der Realität kontinuierlich abnimmt, während sich der der Virtualität entsprechend erhöht. Soweit der Anteil der Virtualität hier überwiegt, ohne dass die Umgebung dabei ausschließlich virtuell ist (virtuelle Realität), so spricht man von Augmentierter Virtualität (engl. Augmented Virtuality). Ist hingegen der Anteil der Realität größer, so handelt es sich um AR.“ (Milgram, 1995 zitiert nach *Doerner, Grimm & Jung, 2022, S. 22.*)

*Doerner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (2022): Virtual Reality and Augmented Reality (VR/AR): Foundations and Methods of Extended Realities (XR). Cham: Springer International Publishing.*

### **Objektorientierte Modellierung**

„Konstruktion eines digitalen Modells mithilfe von Modellelementen wie Wänden, Türen und nicht auf Basis von Flächen und Linien.“

Anmerkung: Diese Objekte besitzen neben der Geometrie auch weitere verknüpfte Informationen wie Material, physikalische Kennwerte.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Punktwolke**

„Menge von Punkten, die einen dreidimensionalen Raum bezeichnet, wobei die Punkte neben ihren Koordinaten (X, Y, Z) auch weitere Informationen wie Intensitäts- oder Farbwerte enthalten.“

Anmerkung: Die Punktmenge kann beispielsweise durch die Aufnahmeverfahren Laserscanning oder Fotogrammetrie erfasst werden. Aus den Punktwolken können Bauwerksmodelle abgeleitet werden.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Visuelle Eindeutigkeit**

„Das Qualitätskriterium ‚visuelle Eindeutigkeit‘ besagt, dass Visualisierungen möglichst eindeutig und verständlich sein sollten. Auf Bildelemente, die ablenken und verwirren, sollte verzichtet werden; genauso auf visuelle Inszenierungen, die auf starke Emotionalität setzen und eine inhaltliche Auseinandersetzung mit der Visualisierung erschweren.“ (Vgl. Sachliche Richtigkeit)

*Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 37.*

### **3D-Modell**

„dreidimensionale digitale Abbildung eines Bauwerks.“

Anmerkung: Das 3-D-Modell ist im Kontext von BIM in der Regel objektbasiert (z. B. mit nicht geometrischen Informationen ergänzt) und ein zentraler Bestandteil der Methode.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **4D-Modell**

„erweitertes 3-D-Modell, bei dem Modellelemente den Vorgängen eines Terminplans zugeordnet werden.“

Anmerkung: Durch die Verwendung eines 4-D-Modells kann beispielsweise der zeitliche Verlauf der Erstellung eines Bauwerks simuliert werden. Planung und Steuerung von Bauablaufplänen können kontrolliert/optimiert werden (4-D = 3-D + Zeit).“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **5D-Modell**

„Bauwerksmodell, bei dem Zeiten (4-D) und Kosten (5-D) mit Objekten eines 3-D-Modells verknüpft werden.

Anmerkung: Es werden die modellbasierten Mengen, der Material-/Personalbedarf sowie Kostenansätze berücksichtigt. Hierbei kann neben der 4-D-Bauablaufsimulation auch der Kostenverlauf sowie Material- und Personalganglinien simuliert werden (5-D = 3-D + Zeit + Kosten).“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Visualisierungsarten**

### **Visualisierung**

„Bildliche Darstellung des Bauwerks sowie von Modellinformationen zur Veranschaulichung und Kommunikation. Anmerkung: Die Visualisierung vereinfacht die Kommunikation über ein Bauprojekt insbesondere für nicht fachkundige Beteiligte. Eine Steigerung der Visualisierung ist die Virtualisierung, bei der ein Bauwerk virtuell betreten werden kann.“ Die Unterschiede und Einsatzmöglichkeiten der Visualisierungen werden in der Testphase genauer erläutert.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Animationsfilme**

Bei Animationsfilmen handelt es sich um eine dynamische, nicht interaktive Visualisierungsart, bei der Bewegtbilder aus dem dreidimensionalen, digitalen Bauwerksmodell erstellt werden. Durch eine Verschiebung des Ortes bzw. durch eine Bewegung des Objektes entsteht eine Dynamik, die als Bewegtbildproduktion wahrgenommen wird.

*Brettschneider et al. (2017), S. 17.*

Animationsfilme bestehen aus einer sehr schnellen Abfolge von einer hohen Anzahl an Einzelbildern, wobei auch Musik oder andere Geräusche integriert werden können. Sie werden häufig für die virtuelle Darstellung von Gebäuden und Umgebungen verwendet. Dabei wird zwischen einem sogenannten Walk-through, also einem Rundgang durch das Gebäude aus der Ich-Perspektive, und einem Fly-through, wobei die Kamera aus verschiedenen Perspektiven an das Gebäude heranschwebt, unterschieden. *Spieker, S. 59.*

### **Architekturmodelle**

Architekturmodelle sind virtuelle oder physische Abbildungen eines Entwurfs oder eines bereits bestehenden Bauwerks. Sie werden heutzutage viel mehr im Rahmen von Architekturwettbewerben für öffentliche und private Projekte eingesetzt.

Modelle besitzen drei wesentliche Merkmale:

- 1. Das Abbildungsmerkmal: „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wie Modelle sein können.“ (S. 131)
- 2. Das Verkürzungsmerkmal: „Modelle erlassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant erscheinen.“ (S. 132)
- 3. Das Pragmatische Merkmal: „Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“ (S. 132f.)

*Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien, New York: Springer Verlag, URL: <https://archive.org/details/Stachowiak1973AllgemeineModelltheorie> (Zugriff am 26.02.22).*

### **Arbeits- und Koordinationsmodelle**

Die verschiedenen Arbeits- und Koordinationsmodelle beinhalten einzelne Modellelemente mit geometrischen, materiellen und funktionalen Eigenschaften, die darüber hinaus mit zeitlichen Abläufen und Kosten verknüpft sein können. Zweck der Fachmodelle ist die Planung und Dokumentation der Erstellung und des Betriebs des Bauwerks. Für die Modelle gilt, je höher der Detaillierungsgrad ist, desto zuverlässiger sind die darin enthaltenen Informationen. Auf Basis des Koordinationsmodells können Abstimmungen, Konfliktprüfungen sowie Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt werden. Arbeits- und Koordinationsmodelle sind eng mit der Building Information Modeling Methode verknüpft und hängen von den jeweiligen Software-Programmen ab.

*Borrmann et al. (2021), S. 695.*

### **Augmented Reality**

Augmented Reality ergänzt zu der realen Umgebung einzelne virtuelle Elemente in Echtzeit. Im Bereich AR wird zwischen den Arten „Video-see-through“ und „Optical-see-through“ unterschieden. „Video-see-through“ bedeutet, dass die Umgebung durch eine Kamera (z. B. Smartphone) erfasst wird und so ein Bild der realen Umgebung, ergänzt mit virtuellen Elementen, über ein Display ausgegeben wird. Beim sogenannten „Optical-see-through“ hingegen werden Spezialbrillen benötigt, durch die der Nutzer die Umgebung begutachten kann, während gleichzeitig virtuelle Inhalte direkt auf den Brillengläsern eingeblendet werden.

*Ma et al. (2011), S. 7.*

### **Baublaufsimulation**

Die Bauablaufssimulation oder 4D-Baublaufsimulation (im Englischen oft als Construction Squencing bezeichnet) beschreibt die Simulation und animierte 3D-Visualisierung des geplanten Bauablaufs. Dabei werden die Elemente eines 3D-Modells der Terminplanung im Projekt zugeordnet, um die Abläufe in Planung und Bauphase abzubilden, zu kontrollieren und effektiv zu steuern.

[Baublaufsimulation | BIM | Glossar | Baunetz Wissen \(baunetzwissen.de\)](#)

### **3D-Echtzeitsimulation**

Echtzeitsimulationen bieten die Möglichkeit, ein Bauwerk räumlich zu erleben, indem eine 3D-Umgebung aus den Informationen des BIM-Modells erstellt wird. Noch vor der eigentlichen Bauausführung können so Abläufe und Strukturen dynamisch und mehrfach simuliert werden, um eine ideale Entscheidungsfindung bezüglich geplanter Prozesse zu generieren (teamplan.de). Echtzeitsimulationen ermöglichen eine individuelle Navigation, wobei die dreidimensionalen Geometrien des Bauwerks aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden können. *Schildwächter / Zeile (2008), S. 235–236.*

Die Qualität von Echtzeitvisualisierungen ist dabei von der Latenzzeit des Systems und von der Bildwiederholungsrate abhängig.

*Computergestützte Echtzeitsimulation (o. J.) teamplan.de URL: <https://www.teamplan.de/planen-beraten/computergestuetzte-echtzeitsimulation> (Zugriff am 13.11.22).*

### **Fotomontage**

„In der Montage im Bild oder der Collage werden Elemente aus Bildern [...] miteinander kombiniert. Das so entstandene Bild bildet eine neue Komposition und kann damit Träger einer Aussage werden, die nicht in den einzelnen Teilen des Bildes enthalten war.“

*Bildmontage, Universität Tübingen (o. J.) gib.uni-tuebingen.de URL: <https://www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar/index.php?title=Bildmontage> (Zugriff am 13.11.22).*

### **Rendering**

„Beim *Rendern* werden die dreidimensionalen Modelle mit Texturen belegt, Materialeigenschaften festgelegt und Lichtquellen sowie die Position und Blickrichtung des Betrachters definiert. Es entstehen realistische Bilder, die kaum von einem Foto zu unterscheiden sind.“

*Ellmer, Katrin Anna (o. J.): Rendering <http://minilexikon-architektonischer-modebegriffe.tugraz.at> URL: <http://minilexikon-architektonischer-modebegriffe.tugraz.at/index.php/modebegriffe/rendering/> (Zugriff am 13.11.22).*

### **Virtual Reality**

Virtuelle Realität ist eine interaktive, computergenerierte Umgebung, die die reale Umgebung vollständig überlagert (VDI - Verein Deutscher Ingenieure, S. 13). Das Eintauchen in die virtuelle Umgebung wird als Immersion bezeichnet, wobei eine Technologie mit steigender Überlagerung der Realität immersiver wird. Um Virtual Reality und das stereoskopische Sehen (Wahrnehmung von räumlicher Tiefe) nutzen zu können, werden spezielle Ein- und Ausgabegeräte benötigt, die eine freie Navigation in Echtzeit ermöglichen. Ausgabemedien für VR sind meist 3D-Powerwalls, Caves oder Head Mounted Displays.

*Brettschneider et al. (2017), S. 19–20.*

### **2D-Skizze (Handskizze)**

Eine Skizze ist im Allgemeinen eine Zeichnung, die sich auf das Wesentliche beschränkt. In der Architektur wird sie dazu genutzt, um Ideen und Vorstellungen hervorzubringen.

### **2D-Plan**

Ein Plan wird im Projekt meistens genutzt, um konstruktive Details, die sich nicht oder nur bedingt in einem 3D-Modell erkennen lassen, hervorzuheben und zu präsentieren.

## **Rollen**

### **Adressat, Adressatin**

Männliche oder weibliche Person, an die etwas gerichtet ist, für die etwas bestimmt ist; Empfänger [einer Postsendung]. Im Kontext der Bauwerksvisualisierung sind Adressaten hier die Personen, für die eine Bauwerksvisualisierung erstellt wird.

### **Akteur, Akteurin:**

„Person, Organisation oder Organisationseinheit, die in einen Bauprozess eingebunden ist.“

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den Organisationseinheiten gehören unter anderem Abteilungen und Teams.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Rahmen dieses Dokuments finden die Bauprozesse während der Bereitstellungsphase und der Betriebsphase statt.

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Autor, Autorin**

Hier versteht man unter Autor bzw. Autorin die Person, die eine Visualisierung herstellt.

**Empfänger, Empfängerin**

Empfänger einer Bauwerksvisualisierung sind diejenigen, für die die Visualisierung erstellt wird (Auftraggeber, Fachplaner, Öffentlichkeit, usw.)

**Nutzer, Nutzerin**

Im Fall der Bauwerksvisualisierung kann damit die Person gemeint sein, die das jeweilige Programm nutzt, um die Bauwerksvisualisierung zu betrachten.

**Sender, Senderin**

Männliche oder weibliche Person in einer Kommunikationssituation, die eine Botschaft an den Empfänger übermittelt.

In diesem Projekt könnte der Sender auch als Autor oder Ersteller betrachtet werden. „Anbieter von Informationen (3.3.1) über Arbeiten, Waren oder Dienstleistungen. Anmerkung 1 zum Begriff: Für jedes Bereitstellungsteam (3.2.6) sollte ein federführender Informationsbereitsteller benannt werden. Dieser kann auch eines der Aufgabenteams (3.2.7) sein. Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird verwendet, unabhängig davon, ob eine formale Informationsbestellung zwischen den Parteien vorliegt oder nicht.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

**Informationsbesteller, Informationsbestellerin**

„Empfänger von Informationen über Arbeiten, Waren oder Dienstleistungen von einem federführenden Informationsbereitsteller.

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Ländern kann der Informationsbesteller als Auftraggeber, Eigentümer oder Arbeitgeber bezeichnet werden, aber der Informationsbesteller ist nicht auf diese Funktionen beschränkt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird verwendet, unabhängig davon, ob eine formale Informationsbestellung zwischen den Parteien vorliegt oder nicht.

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Medium**

### **Medium**

Das Medium kann als „Verständigungsmittel“ oder auch als „Transportmittel“ zwischen dem Sender und dem Empfänger definiert werden.

### **Ausgabemedien**

Ein Ausgabemedium oder auch Ausgabegerät ist ein „technisches Gerät, das als (eine) Ausgabeeinheit eines Computers dient, d. h. durch die die verarbeiteten Daten nach außen ausgegeben werden können, z. B. Bildschirm, 3D-Drucker, Handy, Oculus-Brillen etc.

### **Herstellmedien**

Ein Herstellmedium ist ein Element (Träger), das Informationen, Daten oder Materialien verarbeitet, zusammenführt und transformiert. Zweck des Herstellmediums ist die Produktion bzw. Schöpfung von einem Gut, nicht die Präsentation bzw. Darstellung (Visualisierungserstellungssoftware).

## **Darstellung**

### **Darstellung**

Unter Darstellung versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks.

### **Dynamische Visualisierung**

„Dynamische Visualisierung: Merkmale sind kontinuierlich manipulierbare Informationsstrukturen, Kontext und Fokustechniken sowie 2D-, 3D- und immersive Informationsdarstellungen“.

*Ziegler, J.; Beinbauer, W. (2007): Interaktion mit komplexen Informationsräumen. München, Wien: Oldenbourg Verlag, S. 12.*

Dynamische Visualisierungen sind Darstellungsarten, die Bewegungen beinhalten, d. h. Videos, Animationen.

### **Interaktive Visualisierung**

„Interaktive Visualisierungen sind Darstellungsarten, welche eine Interaktivität ermöglichen, d. h. beispielsweise Simulationen. Die bieten eine Eingriffsmöglichkeit für den Nutzer.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Statische Visualisierung**

Eine statische Visualisierung ist eine Art der Visualisierung, bei der das Abgebildete keine Bewegung aufweist. Hierzu zählt beispielsweise das klassische 3D-Rendering.

### **Atmosphäre**

Atmosphäre bezeichnet aus rezeptionstheoretischer Sicht eine subjektive Stimmung, die sozial und von der äußeren Umgebung vermittelt wird, oder aber eine objektive Eigenschaft einer Umgebung, die sich nicht allein auf einen einzelnen Gegenstand zurückführen lässt, sondern auf die Art der Zusammenstellung dieser Umgebung.

Als Kriterium sind folgende Unterpunkte in dem Begriff Atmosphäre zusammengefasst:

- Grad der Inszenierung
- Grad der Emotionalisierung
- Grad der Ablenkung
- Repräsentativität

*Definition Atmosphäre Academic (o. J.) academic.com URL: <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/109161> (Zugriff am 22.09.22).*

### **Ablenkung**

Ablenkung ist im Kontext der Visualisierungen eine physische Zerstreuung, aufgrund von visuellen Objekten, die in Anzahl und Anordnung von geringer Relevanz sind.

### **Inszenierung**

Bezeichnet hier die Kunst, eine Bauwerksvisualisierung bezüglich eines bestimmten Aspektes einzurichten. Es ermöglicht, den gewünschten Aspekt in den Vordergrund zu setzen.

### **Repräsentativität**

„Das Qualitätskriterium ‚Repräsentativität‘ besagt, dass eine Visualisierung typische und relevante Blickwinkel auf das Bauvorhaben einnehmen sollte. Typisch und relevant bedeutet, dass diese Blickwinkel diejenigen sind, die im Alltag besonders häufig eingenommen werden und/oder die von besonderer Bedeutung sind.“

*Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 36.*

### **Sachliche Richtigkeit**

„Das Qualitätskriterium ‚sachliche Richtigkeit‘ enthält die Forderung, geplante Bauwerke und ihre Umgebung entsprechend ihrer Größe, Proportion, Form- und Farbgebung sowie Position abzubilden.“  
*Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 30.*

### **Wahrheitsgehalt**

Der Wahrheitsgehalt gibt an, wie wahr eine Darstellung im Vergleich zur Realität oder zur späteren Ausführung ist. Der Grad der Realität ist hier mit dem Wahrheitsgehalt gleichzusetzen. Eine Visualisierung kann u. U. aufgrund von sachlichen Fehlern und Emotionalisierung nicht der Wahrheit/Realität entsprechen.

Die sachliche Richtigkeit und der Wahrheitsgehalt werden in einem Kriterium zusammengefasst und beinhalten folgende Unterpunkte:

- Maßstabsgetreue Abbildung
- Korrekte Formgebung und Größe
- Korrekte Farb- und Materialverwendung
- Umgebende Objekte darstellen
- Schatten und Licht darstellen

### **Blickwinkel/Sichtweise**

Der Blickwinkel bezieht sich auf die Perspektive, die der Betrachter bei einer Visualisierung einnimmt. Dieses Kriterium beinhaltet folgende Unterpunkte:

- Auswahl der Betrachter-Standorte/Perspektiven
- Auswahl von Tages-/Jahreszeit
- Auswahl von Blickhöhe

## **Detailierung**

### **Detailierungsgrad**

„Detailierungsgrad, Fertigstellungsgrad oder auch Informationsgrad sind Bezeichnungen, die den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen beschreiben. Im englischsprachigen Raum wird meist das Akronym LOD verwendet, das je nach Definition für Level of Detail, Level of Development oder Level of Definition steht. Um den Informationsgehalt getrennt nach geometrischen und

alphanumerischen Modellinformationen zu beschreiben, werden in diesem Zusammenhang auch die Akronyme **LOG** (Level of Geometry) und **LOI** (Level of Information) benutzt. Im Folgenden wird LOD als Level of Detail in Bezug auf die Geometrie und LOI in Bezug auf die Alphanumerik verwendet.“

*Was bedeutet LOD/LOI. (o. J.). Baunetzwissen. URL:*

*<https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890Stachowiak1973AllgemeineModelltheorie> (Zugriff am 06.03.22).*

### **Abstraktionsgrad**

Der Abstraktionsgrad beschreibt den Grad bzw. die Abstufung der Vereinfachung einer Visualisierung. Hier ist das Ziel, die Darstellung zu verallgemeinern.

### **Level of Geometry (geometrischer Detaillierungsgrad)**

„Detaillierungsgrad der geometrischen Modellelemente in fachspezifischen Bauwerksmodellen.

Anmerkung: Dieser wird oft im Zusammenhang mit entsprechenden BIM-Anwendungen, wie Kostenermittlung, aufgestellt.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Level of Information (alphanumerischer Detaillierungsgrad)**

„Grad der Attribuierung der Modellelemente in fachspezifischen Bauwerksmodellen.

Anmerkung: Dieser wird oft im Zusammenhang mit entsprechender BIM-Anwendung, wie projektbegleitendes Facility-Management, aufgestellt.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Fertigstellungsgrad**

„level of development: Ausarbeitungsgrad der fachspezifischen Bauwerksmodelle zu einer bestimmten Projektphase und für die Freigabe der BIM-Anwendungen.

Anmerkung: Der Fertigstellungsgrad wird in der Regel für das Bauwerk, die Geometrie, die Kostenermittlung oder die Terminplanung angegeben.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Form**

### **Eingabeform**

Eingabeform ist die Art und Weise, wie etwas gegenüber einem Medium vorhanden ist, wie etwas erscheint bzw. sich darstellt, bevor es in die Ausgabeform transformiert wird. Die Eingabeform ist nicht mit dem Herstellmedium gleichzusetzen.

**Ausgabeform**

Die Ausgabeform einer Visualisierung definiert die Darstellungsweise (Erscheinung), wie eine Visualisierung ausgegeben wird.

z. B. Styrodur Modell, 3D-Druckmodell aus Kunststoff, digitale 3D-Animation, Videosimulation.

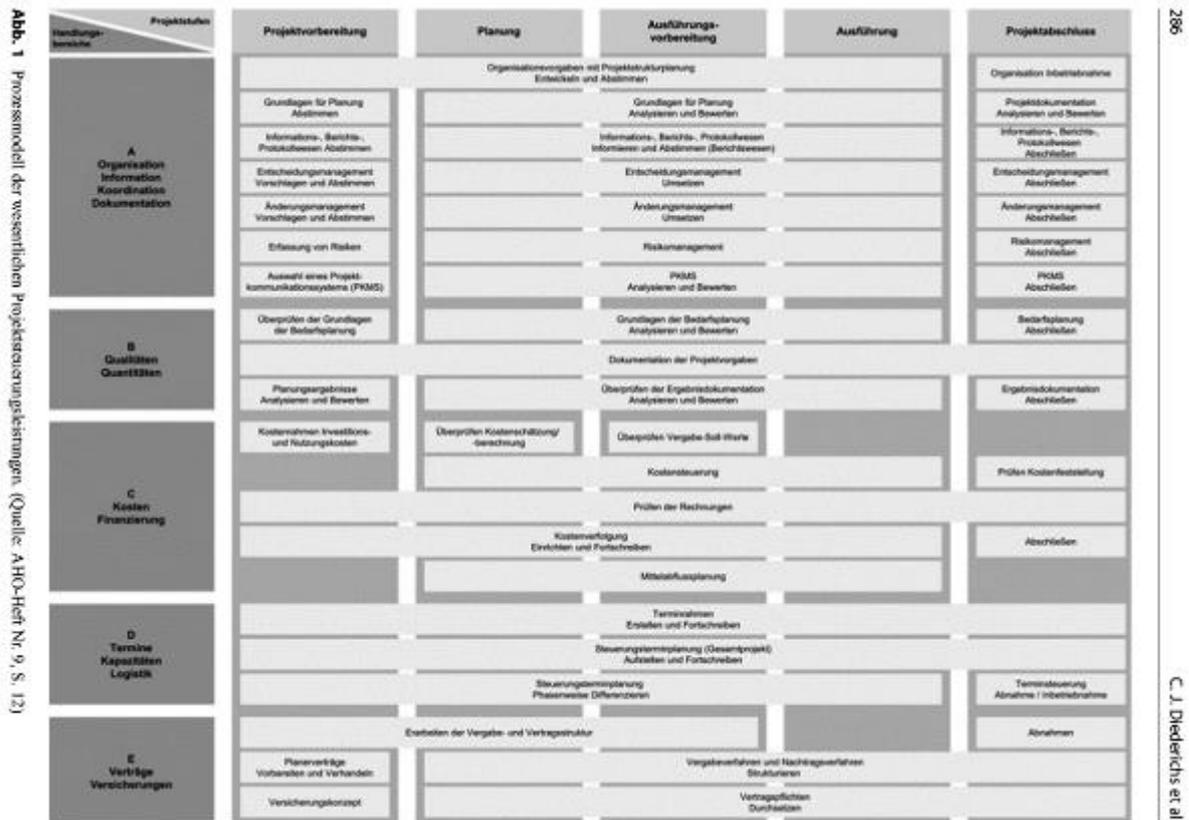
## Anhang 5: Liste Sender / Empfänger von Visualisierungen nach AHO und HOAI

AHO-Projektphasen	HOAI-Leistungsphasen	Sender (Visualisierungsersteller)	Empfänger / mögliche Adressaten	Mögliche Informationen für die Adressaten
1. Projektvorbereitung	LP 1	Architekten Generalplaner	Privater Bauherr / Investor Öffentlicher Auftraggeber Projektentwicklung / Projektsteuerung / Projektmanagement	Visualisierungen zunächst häufig analog (in Form von ersten Skizzen, Moodboards und Arbeitsmodellen). Darstellungsgrad und die Detaillierung minimal. Berücksichtigung von Visualisierungen aus vorherigen Planungen des Bauvorhabens in der Grundlagenermittlung
2. Planung	LP 2 LP 3 LP 4	Architekten Generalplaner Fachplaner	Privater Bauherr / Investor Öffentlicher Auftraggeber Projektentwicklung / Projektsteuerung / Projektmanagement Statiker / Prüfstatik TGA Planer Brandschutz / Lärmschutz Gutachter Ggf. Öffentlichkeit, Bevölkerung bei öffentlichen Wettbewerben Ggf. Nutzer der Immobilie z. B. bei Schulen oder Mehrfamilienwohnhaus mit mehreren Nutzern Kreditinstitute / Stakeholder Behörden / Bauämter	Raumaufteilung, Form, Material, Licht, Öffnungen und Interaktion zwischen diesen Parametern werden visualisiert. Mittlerer bis hoher Detaillierungsgrad sinnvoll. Visualisierungen haben hier den Anspruch, rechtlich und technisch korrekt dargestellt zu werden (siehe Kriterien Realitätsnähe + Repräsentativität + sachliche Richtigkeit) Digitale und immersive Visualisierungsformen können in Planung angewandt werden.
3. Ausführungs- vorbereitung	LP 5 LP 6 LP 7	Architekten Generalplaner Fachplaner	Privater Bauherr / Investor Öffentlicher Auftraggeber Projektsteuerung / Projektmanagement Hersteller von Bauprodukten / Baustoffen / Haustechnik Bauausführende Unternehmen	Detaillierte Darstellung und Planung von Konstruktion, Statik und Details für Objektplaner und Hersteller werden durch gezielte Visualisierungen unterstützt. Visualisierungen des gesamten Bauwerks und Visualisierungen zur Konstruktion und zum Innenraum. Fokus auf technischen Darstellungen, gespickt mit numerischen Informationen. Digitale und immersive Visualisierungsformen können in Ausführungsvorbereitung angewandt werden.
4. Ausführung	LP 8	Architekten Generalplaner Fachplaner	Privater Bauherr / Investor Öffentlicher Auftraggeber Projektsteuerung / Projektmanagement Hersteller v. Bauprodukten / Baustoffen / Haustechnik Bauausführende Unternehmen Subunternehmen Zulieferer Bauleitung Facility Management / Hausverwaltung Nutzer Behörden Gutachter	Aktuelle und detaillierte Informationen zu Konstruktion und Baustand relevant für bauausführende Firmen. Digitale und immersive Visualisierungsformen können in Bauausführung angewandt werden. Höchster Detaillierungs- und Informationsgrad notwendig.
5. Projektabschluss	LP 9	Architekten Generalplaner Fachplaner	Privater Bauherr / Investor Öffentlicher Auftraggeber Projektsteuerung / Projektmanagement Bauausführende Unternehmen Facility Management / Hausverwaltung Nutzer Unternehmen für Reparatur, Sanierung, Instandhaltung und Rückbau	Visualisierungen des gesamten Bauwerks und Visualisierungen zur Konstruktion und zum Innenraum, wichtig zum Abgleich mit Bauwerk für ausführende Baufirmen und Zulieferer. Visualisierungen aus vorherigen Projektphasen werden hier aufgegriffen.

Hinweis:

Alle Begriffe sind im beiliegenden BIM-Glossar beschrieben und definiert.

**Beschreibung der Projektphasen nach AHO und Hauptanwendungsfälle**



Hinweis: Je nach Projekttypologie, bauherrenspezifischem Entscheidungsverhalten sowie Qualität der Planungsbeteiligten ergibt sich bei jedem Projekt ein unterschiedliches Maß an Änderungen, die im Hinblick auf das Erreichen der Projektziele in die Planung integriert sowie von den ausführenden Firmen auf der Baustelle umgesetzt werden müssen.

**1. Projektvorbereitung (vgl. mit Leistungsphase 1)**

Diese Stufe beschreibt die Projektentwicklung. Sie lässt sich der HOAI-Leistungsphase 1 zuordnen. In dieser Stufe werden die Grundlagen für ein Projekt ermittelt. Es geht in erster Linie um das Ausarbeiten von Konzepten sowie um die Durchführung von Machbarkeitsstudien und Bedarfsanalysen. Diese Phase macht 26 % der Gesamtleistung der Projektsteuerung nach AHO aus.

**Hauptanwendungsfall Visualisierung:**

Visualisierungen haben hier noch wenig Relevanz. Meistens werden dann zunächst erste Skizzen visualisiert oder erste Arbeitsmodelle erstellt. Dementsprechend ist in dieser Leistungsphase der Darstellungsgrad und die Detaillierung minimal. Visualisierungen von vorherigen Planungen dieses Bauvorhabens können in der Grundlagenermittlung eingeholt werden.

- **Grundlagen für Planung abstimmen**
- **Planungsergebnisse analysieren und bewerten**

**2. Planung Projekt (vgl. mit den Leistungsphasen 2, 3, 4)**

In dieser Phase findet die Planung bis zur Baugenehmigung statt. Enthalten sind die HOAI-Leistungsphasen 2 bis 4 (Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung). Am Ende dieser Projektstufe ist die Planung bereits weit fortgeschritten. Die Genehmigungsplanung enthält bereits deutlich mehr Details als die vorhergehenden Leistungsphasen. Diese Phase macht 21 % der Gesamtleistung der Projektsteuerung aus.

**Hauptanwendungsfall Visualisierung:**

Hauptsächlich dient eine Visualisierung in der Planungsphase der visuellen Verdeutlichung des Entwurfes (weitere Aspekte wie Nachhaltigkeit, Interaktion mit Menschen, usw.). Hier werden Visualisierungen genutzt, um einen Entwurf gegenüber den Adressaten verständlicher zu machen oder die Empfänger von einer Idee zu überzeugen. Die Planungsphase im gewöhnlichen Bauprozess, ist meist die Phase, in der Visualisierungen angefertigt werden.

- **Erarbeiten der Vorplanung, untersuchen, darstellen und bewerten von Varianten nach gleichen Anforderungen, Zeichnungen im Maßstab nach Art und Größe des Objektes**
- **Zeichnungen nach Art und Größe des Objektes im erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad unter Berücksichtigung im Maßstab 1:100**
- **Bereitstellen der Arbeitsergebnisse als Grundlage für an der Planung fachlich Beteiligte**
- **Grundlagen für Planung analysieren und bewerten**
- **Grundlagen der Bedarfsplanung analysieren und bewerten**

**3. Vorbereitung der Ausführung (vgl. mit Leistungsphase 5-7)**

Mit Abschluss dieser Projektstufe wird in der Regel ein Bauauftrag vergeben. Sie beschreibt den Prozess zur Fertigstellung der Planung und die Durchführung eines Vergabeverfahrens, das in der Regel mit der Vergabe eines Bauauftrags endet. Dieser Projektstufe lassen sich die HOAI-

Leistungsphasen 5 bis 7 (Ausführungsplanung, Vorbereiten der Vergabe, Mitwirken bei der Vergabe) zuordnen. In dieser Phase werden 19 % der Gesamtleistung der Projektsteuerung erbracht.

#### **Hauptanwendungsfall Visualisierung:**

Eine Visualisierung in der Ausführungsplanung dient häufig zur Darstellung von detaillierten Konstruktionen und Planungen. Hier unterscheidet sich die Darstellung und Detaillierung von der Planungsphase. Visualisierungen können ggf. bauausführenden Herstellern und Firmen zum besseren Verständnis zur Verfügung gestellt werden.

- **Erarbeitung der Ausführungsplanung mit allen notwendigen Angaben**

#### **4. Ausführung (vgl. mit Leistungsphase 8)**

Diese Projektstufe beschreibt die Bauausführung. Erst jetzt wird tatsächlich gebaut. In der HOAI heißt diese Phase Leistungsphase 8 ([Objektüberwachung](#)). Die Möglichkeit der Einflussnahme auf das spätere Bauwerk ist relativ gering, und der Bauherr hat mit seiner Projektleitung überwiegend die Aufgabe, die Einhaltung der gewünschten Qualität, des Terminrahmens und der kalkulierten Kosten zu überwachen. Diese Stufe der Ausführung macht mit 26 % der Gesamtleistung der Projektsteuerung den größten Teil aus.

#### **Hauptanwendungsfall Visualisierung:**

Visualisierungen werden in der Ausführung hauptsächlich zur Veranschaulichung, zum Vergleich und zur Kontrolle verwendet. Eine Visualisierung kann hier das Bindeglied zwischen Planung und tatsächlich Gebautem herstellen. Details und Konstruktionen können für bauausführende Unternehmen veranschaulicht werden.

- **Überwachung der Beseitigung von festgestellten Mängeln**

#### **5. Projektabschluss (vgl. mit Leistungsphase 9)**

Mit der abschließenden Projektbetreuung wird in dieser Phase das Bauwerk in seine eigentliche Nutzung überführt. Dazu hat in der Regel eine Inbetriebnahme zu erfolgen, und es muss eine umfangreiche Dokumentation über das Bauwerk ausgearbeitet und übergeben werden. Dazu können beispielsweise ein [Wartungsplan oder ein Reinigungskonzept](#) gehören. Dies klingt zunächst nach dem Abheften von Vordrucken, doch wer sich schon einmal Gedanken darüber gemacht hat, wie eine aufwendige Glasfassade von außen wie von innen gereinigt werden kann,

der wird verstehen, dass auch in der Ausführung dieser Arbeiten einige Sorgfalt geboten ist. Diese Projektstufe entspricht der HOAI-Leistungsphase 9 (Dokumentation, Objektbetreuung). In dieser letzten Stufe werden 8 % der Gesamtleistung der Projektsteuerung erbracht.

### **Hauptanwendungsfall Visualisierung:**

Hier werden Visualisierungen nur vereinzelt eingesetzt. Auch in dieser Projektphase dient die Visualisierung dem Abgleich zwischen Realität und Planung, um Unterschiede festzustellen. Erstellte Visualisierungen aus der Planungsphase können hier abgeglichen werden.

- **Überwachung der Mängelbeseitigung**
- **Projektdokumentation analysieren und bewerten**

### **Mögliche Sender und Empfänger / Adressaten von Visualisierungen**

Mögliche Sender:

- Generalplanung
- Architektur-/Innenarchitekturbüro
- Stadtplanungs-/Freiraumplanungsbüro
- Ggf. Fachplaner
- Ggf. Nutzung Visualisierungen von Bauprodukt/Baustoff-Herstellern

Empfänger / Adressaten:

- Privater Bauherr / Investor
- Öffentlicher Auftraggeber
- Projektsteuerung / Projektmanagement
- Statiker / Prüfstatik
- TGA-Planer
- Brandschutz / Lärmschutz Gutachter
- Ggf. Öffentlichkeit, Bevölkerung bei öffentlichen Wettbewerben
- Ggf. Nutzer der Immobilie z. B. bei Schulen oder Mehrfamilienwohnhaus mit mehreren Nutzern
- Behörden / Bauämter
- Vermesser
- Kreditinstitute
- Stakeholder
- Hersteller von Bauprodukten / Baustoffen / Haustechnik
- Bauausführende Unternehmen
- Subunternehmen / Zulieferer

**Quellenangabe zur AHO:**

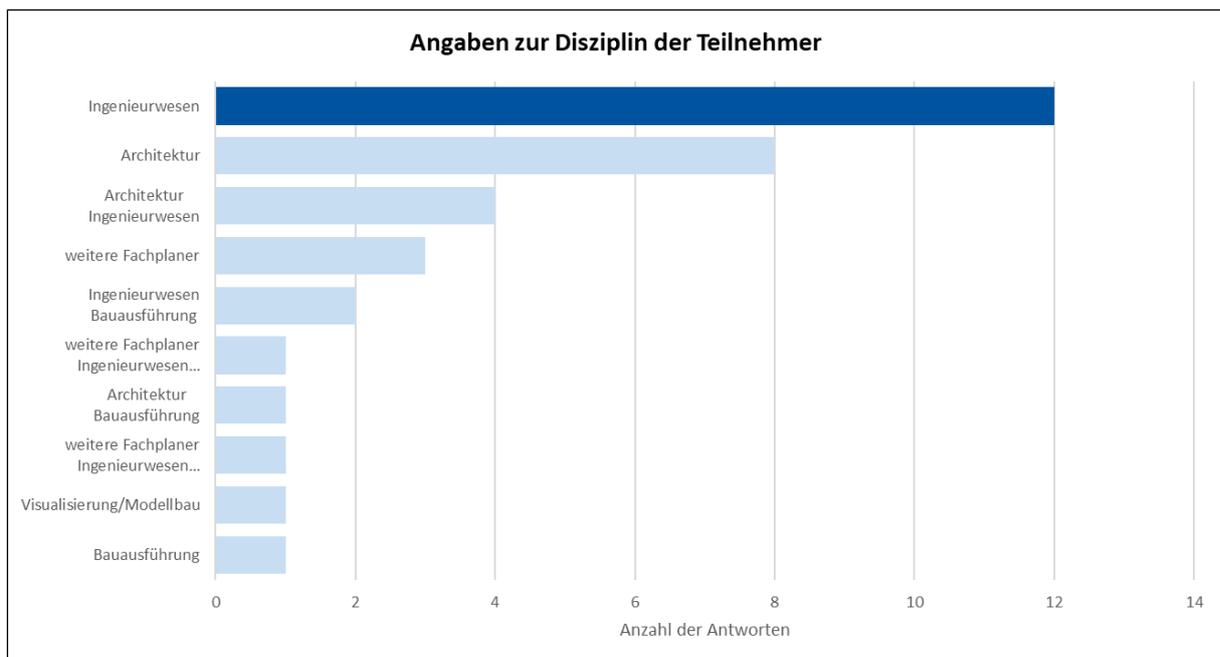
Quelle: Bauwirtschaft und Baubetrieb – Claus Jürgen Diederichs & Nobert Preuß

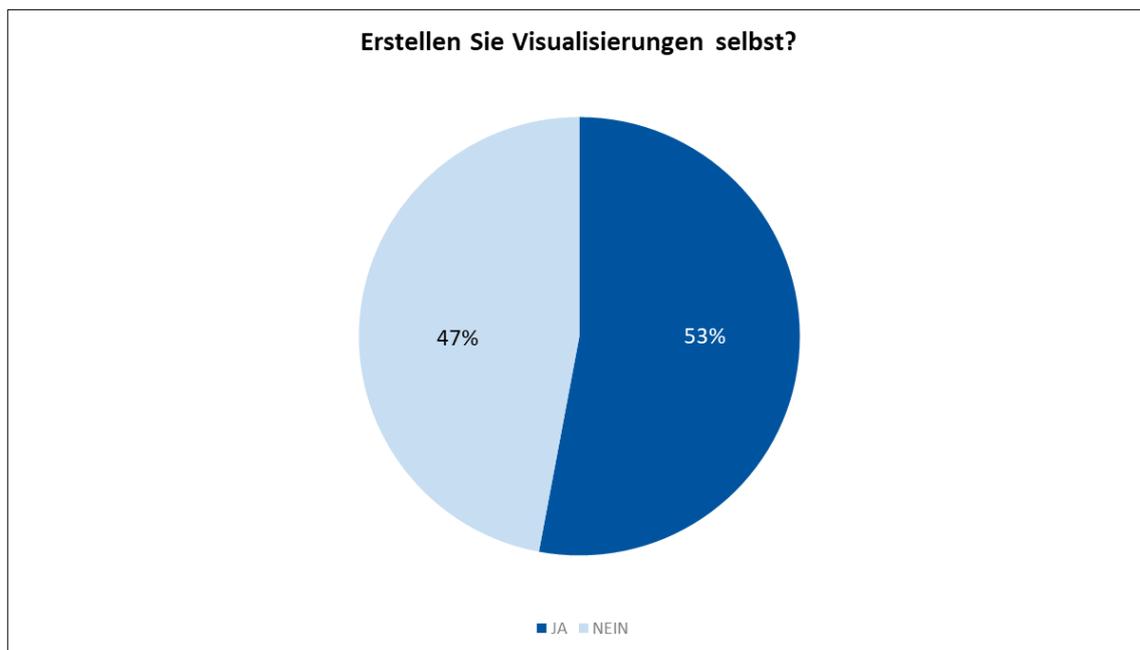
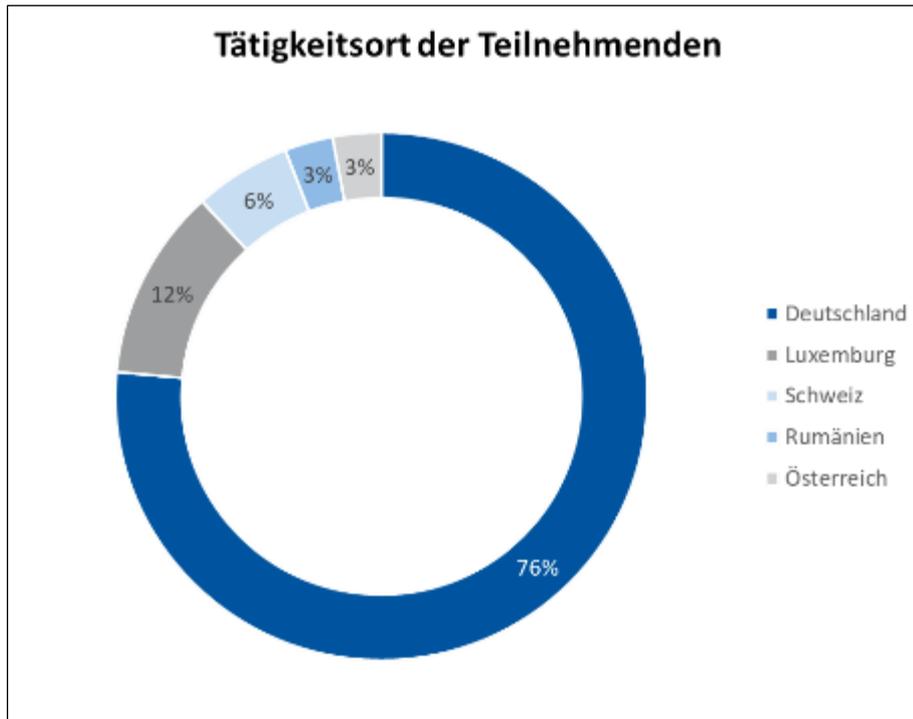
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-36020-6.pdf>

Capmo

<https://www.capmo.com/baulexikon/projektsteuerung>

Anhang 6: Ergebnisse der Onlineumfrage zur Relevanz der vorläufigen Qualitätskriterien in verschiedenen Anwendungsszenarien





Anhang 7: Vergleich LOIN- und LoV-Dimensionen

LOIN			BIM-LoVE				
			Dimension - Detaillierung				
<b>Schritt 1: Festlegung Level of Geometry</b>	<b>Betrachtung: Detail</b>	Symbolisch	<b>Kategorie 1: Detaillierungsgrad von Konstruktion / Textur / Farbe + Maßstab</b>	Geringer Detaillierungsgrad	<b>Kategorie 2: Abstraktionsgrad / Glaubwürdigkeit</b>	Glaubwürdigkeit	Gering
		Vereinfacht		Kleiner Maßstab			Mittel
		Detailliert / realistisch		Mittlerer Detaillierungsgrad			Hoch
	<b>Betrachtung: Aussehen</b>	Symbolisch		Mittlerer Maßstab		Abstraktion	Gering
		Vereinfacht		Hoher Detaillierungsgrad			Mittel
		Detailliert / realistisch		Großer Maßstab			Hoch
LOIN			BIM-LoVE:				
			Dimension - Darstellung				
<b>Schritt 2: Festlegung Level of Information</b>	<b>Geometrische Informationen</b>		<b>Kategorie 3: Sachliche Richtigkeit / Wahrheitsgehalt / Realitätsgrad</b>	Maßstabsgetreue Abbildung	<b>Kategorie 4: Blickwinkel / Sichtweise</b>	Auswahl der Betrachterstandorte / -perspektiven	
	<b>Materialität / Funktionen</b>			Korrekte Formgebung und Größe		Auswahl von Tages- / Jahreszeit	
	<b>Qualitäten</b>			Korrekte Farb- und Materialverwendung		-	
				-		-	

Die Schritte des LOIN setzen bei den im Leitfaden von BIM-LoVE definierten Dimensionen in der zweiten Kategorie der Darstellung sowie der Dimension der Detaillierung an: Die Einordnung der LOIN in symbolisch, vereinfacht, detailliert/realistisch ist vergleichbar mit den Unterkategorien der Darstellung (technisch, abstrakt, fotorealistisch) und der Detaillierung (geringer, mittlerer oder hoher Detaillierungsgrad). In der LOIN wird in diesem Schritt zudem betrachtet, inwiefern Details dargestellt werden und das Aussehen des dargestellten Modells beschrieben werden kann. Darauf wird in der Darstellungsdimension, der dritten Kategorie, eingegangen, die die sachliche Richtigkeit, den Wahrheitsgehalt und die Glaubwürdigkeit behandelt. Die dritte Kategorie umfasst dabei außerdem Themen des zweiten Schrittes der LOIN, in der der Level of Information festgelegt wird. Zusätzlich folgt darauf die Untersuchung der Repräsentativität in der vierten Kategorie.



## Anhang 8: Ergebnisse Workshop zur Auswahl der vorläufigen Kriterien

Bewertende Qualitätskriterien					
Dimensionen	Kategorie	Unterkategorie	Bewertungsskala		
Medium	Benutzerfreundlichkeit		Hoch	Mittel	Gering
	Kompatibilität		Hoch	Mittel	Gering
	Auflösung		Hoch	Mittel	Gering
Darstellung	Atmosphäre				
	↳	Szene	Hoch	Mittel	Gering
	↳	Nutzung Schatten und Licht	Hoch	Mittel	Gering
	↳	Komposition	ansprechend	teilweise ansprechend	nicht ansprechend
	Realitätsgrad		realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	↳	Formgebung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	↳	Farb- und Materialverwendung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	↳	Kontextualisierung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	↳	Realitätsnahe Beleuchtungssituation	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	Sichtweise   Blickwinkel				
	↳	Intuitive Orientierung	leicht	mittel	schwer
	↳	Repräsentativität	zweckmäßig	teilweise zweckmäßig	unzweckmäßig
Detaillierung	Detaillierungsgrad		detailliert	vereinfacht	symbolisch



## Anhang 9: Definition der Qualitätskriterien

### Form:

Die Form bezieht sich auf die Art und Weise, wie die Visualisierung des Bauwerks konzipiert und präsentiert wird.

Dabei können Bauwerksvisualisierungen durch folgende Bewertungsaspekte beschrieben werden:

Analog / Digital

Immersiv / nicht immersiv

Geometrisch / alphanumerisch

### Medium:

Das Medium kann als „Verständigungsmittel“ oder auch als „Transportmittel“ zwischen dem Sender und dem Empfänger definiert werden.

Ausgabemedium	Ein Ausgabemedium oder auch Ausgabegerät ist ein „technisches Gerät, das als (eine) Ausgabeinheit eines Computers dient, d. h. durch die die verarbeiteten Daten nach außen ausgegeben werden können, z. B. Bildschirm, 3D-Drucker, Handy, Oculus-Brillen etc.
Eingabe- / Herstellmedium	Ein Herstellmedium ist ein Element (Träger), das Informationen, Daten oder Materialien verarbeitet, zusammenführt und transformiert. Zweck des Herstellmediums ist die Produktion bzw. Schöpfung von einem Gut, nicht die Präsentation bzw. Darstellung. (Visualisierungserstellungssoftware)
Benutzerfreundlichkeit	Usability steht für die Benutzerfreundlichkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit eines Produkts. Unter Benutzerfreundlichkeit versteht man die Qualität, mit der ein Benutzer mit einem Produkt/System interagieren kann. [...] „Usability ist das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Nutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ (ISO-Norm DIN EN ISO 9241, 11) <a href="#">Rahn, J. (2010) Usability und User Experience.</a>
Kompatibilität	Eine Bauwerksvisualisierung sollte mit einer Vielzahl von Geräten und Plattformen kompatibel sein, um eine maximale Reichweite zu ermöglichen. Dabei stellt Kompatibilität v. a. die Möglichkeit dar, verschiedene Hardwarekomponenten (z. B. Geräte unterschiedlicher Hersteller) bzw. verschiedene Softwareprodukte zusammen oder aufeinander abgestimmt zu benutzen. <a href="https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kompatibilitaet-39149">https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kompatibilitaet-39149</a>
Auflösung	Es gibt 2 Möglichkeiten, die Auflösung eines optischen Systems zu beschreiben: Zum einen kann sie durch die Strahlgröße definiert werden, zum anderen durch den räumlichen Frequenzgang eines optischen Systems, der aus der Fourier-Transformation der Strahlintensitätsverteilung berechnet wird. Das Rayleigh-Kriterium kann auf die Definition der Auflösung angewandt und verallgemeinert

	<p>werden, indem die Intensitätsverteilung eines Strahls anstelle des Airy-Musters verwendet wird. Das Rayleigh-Kriterium wird aus dem Kontrast im Bild für benachbarte punktförmige Objekte bestimmt.</p> <p><a href="#">Handbook of Charged Particle Optics   Jon Orloff   Taylor &amp; Francis eB (taylorfrancis.com)</a></p>
--	--

## Darstellung:

**Art der Darstellung:** Unter Darstellung versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks.

Die Art der Darstellung setzt sich aus den folgenden Bewertungsskalen zusammen:

Statisch / dynamisch	<p>Eine statische Visualisierung ist eine Art der Visualisierung, bei der das Abgebildete keine Bewegung aufweist. Hierzu zählt beispielsweise das klassische 3D-Rendering.</p> <p>„Dynamische Visualisierung: Merkmale sind kontinuierlich manipulierbare Informationsstrukturen, Kontext und Fokustechniken sowie 2D-, 3D- und immersive Informationsdarstellungen.“</p> <p><a href="#">Ziegler, J.; Beinhauer, W. (2007): Interaktion mit komplexen Informationsräumen. München, Wien: Oldenbourg Verlag, S. 12.</a></p> <p>Dynamische Visualisierungen sind Darstellungsarten, die Bewegungen beinhalten, d.h. Videos, Animationen.</p>
Interaktiv / nicht interaktiv	<p>„Interaktive Visualisierungen sind Darstellungsarten, welche eine Interaktivität ermöglichen, d. h. beispielsweise Simulationen. Die bieten eine Eingriffsmöglichkeit für den Nutzer.“</p> <p><a href="#">DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.</a></p>
Anpassbarkeit	<p>Die Anpassbarkeit eines Systems, also im betrachteten Fall einer Bauwerksvisualisierung, beschreibt die Fähigkeit zur [nachträglichen] Anpassung des Systems an verschiedene Anforderungen. Die Eigenschaft der Anpassbarkeit kann dabei sowohl die Möglichkeit zur Anpassung durch externe Personen als auch eine potenzielle Beinhaltung von Automatismen zur eigenständigen Anpassung an sich ändernde (Nutzer-)Anforderungen und Umstände umfassen.</p> <p><a href="#">Basierend auf Schrieverhoff, P.; de Neufville, R.; Lindemann, U.: Valuation of Product Adaptability in Architecture Design, S. 374.</a></p>

**Atmosphäre:** Atmosphäre bezeichnet aus rezeptionstheoretischer Sicht eine subjektive Stimmung, die sozial und von der äußeren Umgebung vermittelt wird, oder aber eine objektive Eigenschaft einer Umgebung, die sich nicht allein auf einen einzelnen Gegenstand zurückführen lässt, sondern auf die Art der Zusammenstellung dieser Umgebung.

Definition Atmosphäre Academic (o. J.) academic.com URL: <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/109161> (Zugriff am 22.09.22)

Szene	Für die Autoren ist eine Szene die zentrale Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Verhaltensplanung. Innerhalb der Verhaltensplanung ist die Situation eine zentrale Schnittstelle. Ein Szenario wird oft zur funktionalen Beschreibung eines Systems oder zur Spezifikation von Testfällen verwendet. <a href="#">std-01-ulbrich.pdf (uni-das.de)</a>
Nutzung Schatten und Licht	<p>„Die Lichtführung ist ein elementarer Teil einer Bildkomposition. Licht und Schatten definieren nicht nur die räumlichen Gegebenheiten, sondern sind auch Mittel zur Konzentrierung auf das Filmbild. Sie stehen für den Charakter des Bildes und der Hervorhebung einzelner Elemente.“</p> <p><a href="#">Sälzer, C. (2014): Der Schatten bestimmt das Licht. Die Entwicklung und Aktualität der Licht- und Schattendramaturgie im Film, S. 16.</a></p> <p>„Licht und Schatten spiel(t)en (in der Kunstmalerei) eine große Rolle, um Körper mit Hilfe von Schattierungen Volumen zu verleihen, dem Raum eine Größe und Tiefe zu geben (...).“</p> <p><a href="#">Sälzer, C. (2014): Der Schatten bestimmt das Licht. Die Entwicklung und Aktualität der Licht- und Schattendramaturgie im Film, S. 19.</a></p> <p>Basierend auf den Beschreibungen der Wirkung von Licht und Schatten im Bereich der Filmkunst und Malerei kann das Verhältnis von Schatten und Licht für unseren Fall der Bauwerksvisualisierungen folgendermaßen zusammengefasst werden: In der Bauwerksvisualisierung sind Licht und Schatten ebenfalls elementare Bestandteile. Sie dienen nicht nur der räumlichen Definition des Bauwerks, sondern sind auch entscheidend für die atmosphärische Wirkung und die Hervorhebung einzelner Elemente. Die gezielte Lichtführung kann dazu beitragen, die Architektur des Gebäudes zu betonen und die Aufmerksamkeit des Betrachters auf bestimmte Bereiche zu lenken.</p>
Komposition	<p>„Die Komposition in der Architektur bezeichnet den gestalterischen Prozess der Anordnung von Formen, Linien und Flächen, um ein harmonisches und ausgewogenes Ganzes zu schaffen.“</p> <p><a href="#">Pevsner, N. (2002): Lexikon der Architektur und Baukunst. Deutscher Taschenbuch Verlag.</a></p>

	Eine gewisse Anordnung von Objekten sowie deren Zusammenspiel (Komposition) führt zu einer Inszenierung. Gleichzeitig löst die Inszenierung verschiedene Emotionen beim Betrachter aus, dies wird Emotionalisierung genannt. Auf Grundlage der Komposition können folglich die Inszenierung und Emotionalisierung objektiv bewertet werden.
--	---

**Sachliche Richtigkeit:** Der Wahrheitsgehalt gibt an, wie wahr eine Darstellung im Vergleich zur Realität oder zur späteren Ausführung ist. Der Grad der Realität ist hier mit dem Wahrheitsgehalt gleichzusetzen. Eine Visualisierung kann u. U. aufgrund von sachlichen Fehlern und Emotionalisierung nicht der Wahrheit/Realität entsprechen.

Die sachliche Richtigkeit und der Wahrheitsgehalt werden in einem Kriterium zusammengefasst und beinhalten folgende Unterpunkte:

Formgebung	„Formgebung ist ein mehrdimensionaler, kreativer Prozess, der darauf abzielt, materielle Objekte zu schaffen, die eine spezifische Wirkung auf den Benutzer haben sollen. Sie umfasst sowohl die ästhetische Gestaltung als auch die technische Umsetzung und die Berücksichtigung von ergonomischen und funktionalen Aspekten.“ <a href="#">Löbach, Bernd (2014): Produktgestaltung: Aufgabe, Kriterien, Darstellungsmethodik. 7. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, S. 3.</a>
Farb- und Materialverwendung	„Die Farb- und Materialverwendung beschreibt den Prozess der Gestaltung von Objekten und Räumen unter Berücksichtigung von Farbe und Material. Dabei geht es darum, eine harmonische und sinnvolle Verbindung von Farbe, Material und Funktion zu schaffen, die den Bedürfnissen und Erwartungen der Zielgruppe entspricht.“ <a href="#">Huber, Jochen (2026): Farbdesign: Theorie und Praxis. 2. Auflage. Stuttgart: Verlag Stahleisen, S. 18.</a>
Kontextualisierung	Kontext bezieht sich bei einer Bauwerksvisualisierung auf alle Informationen, die verwendet werden können, um die Situation des betrachteten Bauwerks zu charakterisieren. Dabei können sowohl Informationen über das Bauwerk selbst als auch über seine Umgebung relevant sein. Ein System zur Bauwerksvisualisierung ist kontextualisiert, wenn es den Kontext nutzt, um dem Benutzer relevante Informationen und/oder Dienste bereitzustellen, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen des Betrachters abgestimmt sind. Die Relevanz von Informationen und Diensten hängt dabei von der beabsichtigten Nutzung der Bauwerksvisualisierung ab. <a href="#">Basierend auf Dey, A. (2001): Understanding and Using Context, S. 5.</a>
Realitätsnahe Beleuchtungssituation	„Um die Architektur so zu zeigen, wie Menschen sie sehen würden, muss die Geometrie der Szene durch Oberflächenqualitäten wie Farbe, Struktur und Glanz ergänzt und mit computergrafischen Methoden ins Licht gesetzt werden. Die computergrafischen Methoden, die hier zur Anwendung kommen, berechnen die Verteilung von Licht und Schatten im Raum, ferner Lichteffekte wie Strahlen, Reflexionen und Glanzpunkte.“

	<p><a href="#">Noback, A. (2019): Lichtsimulation in der digitalen Rekonstruktion historischer Architektur.</a></p> <p>Aus „Nutzung Schatten und Licht“: Schattierung wird zusätzlich verwendet, um dem Bauwerk Volumen und Tiefe zu verleihen, um eine realistische Darstellung zu erreichen und um das visuelle Erlebnis zu verstärken.</p>
--	---

**Sichtweise / Blickwinkel:** Der Blickwinkel bezieht sich auf die Perspektive, die der Betrachter bei einer Visualisierung einnimmt.

Dieses Kriterium beinhaltet folgende Unterpunkte:

Intuitive Orientierung	<p>„Intuitive Orientierung beschreibt die Fähigkeit eines Nutzers, sich in einer neuen Umgebung oder Situation ohne explizite Anleitung oder Instruktionen zurechtzufinden. Diese Fähigkeit beruht auf einer Kombination aus individuellen Faktoren wie Erfahrung und Wissen sowie auf den Eigenschaften der Umgebung oder des Produkts, die eine natürliche Orientierung und Nutzung ermöglichen.“</p> <p><a href="#">Norman, Donald A. (2013): The Design of Everyday Things. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, S. 30.</a></p>
Repräsentativität	<p>„Das Qualitätskriterium ‚Repräsentativität‘ besagt, dass eine Visualisierung typische und relevante Blickwinkel auf das Bauvorhaben einnehmen sollte. Typisch und relevant bedeutet, dass diese Blickwinkel diejenigen sind, die im Alltag besonders häufig eingenommen werden und/oder die von besonderer Bedeutung sind.“</p> <p><a href="#">Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 36.</a></p>

## Detailierung:

Die Kategorie „Detaillierung“ bezieht sich auf die Menge und Art der Informationen, die in der Bauwerksvisualisierung dargestellt werden. Sie umfasst insbesondere die Kriterien des Detaillierungsgrads und des Abstraktionsgrads.

<b>Detaillierungsgrad</b>	<p>„Detaillierungsgrad, Fertigstellungsgrad oder auch Informationsgrad sind Bezeichnungen, die den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen beschreiben. Im englischsprachigen Raum wird meist das Akronym LOD verwendet, das je nach Definition für Level of Detail, Level of Development oder Level of Definition steht. Um den Informationsgehalt getrennt nach geometrischen und alphanumerischen Modellinformationen zu beschreiben, werden in diesem Zusammenhang auch die Akronyme LOG (Level of Geometry) und LOI (Level of Information) benutzt. Im Folgenden wird LOD als Level of Detail in Bezug auf die Geometrie und LOI in Bezug auf die Alphanumerik verwendet.“</p> <p><a href="https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890Stachowiak1973">Was bedeutet LOD/LOI. (o. J.) Baunetzwissen. URL: https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890Stachowiak1973</a></p> <p>AllgemeineModelltheorie</p>
---------------------------	---

## Anhang 10: Spezifikation der Hard- und Software

SOFTWARE	PROZESSOR	Graphikkarte + RAM	BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL		
SOFTWARE - 3D-DESIGN UND MODELING							
	Min.	Intel/AMD Ryzen Prozessor mit AVX-Unterstützung	OpenGL 4.2 kompatibel	4GB	1920 x 1080 pixel	10GB	
	Empfohlen	Intel Core i5, i7 or i9/AMD Ryzen 5, 7, or 9 Prozessor mit AVX Unterstützung	Vulkan 1.2 or OpenGL 4.5 kompatibel	8GB	2560 x 1440 pixel	16GB	
	Min.	64-bit Intel- oder AMD-Mehrkernprozessor	DirectX 11 kompatibel	8GB	1140 x 900 pixel	5+GB	
	Empfohlen	Intel Core i5 AMD Ryzen 5 Intel Core i7 AMD Ryzen 7 Intel Core i9 AMD Ryzen 9	2+ GB VRAM DirectX 11 kompatibel 4 GB VRAM DirectX 11 kompatibel 8 GB VRAM DirectX 11 kompatibel	10GB	FHD+ (1920 x 1080) 2K (2560 x 1600) 5K (5120 x 2880)	16+GB 32+GB 64+GB	

SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Min.	2.5–2.9 GHz processor	1 GB GPU with 29 GB/s Bandweite und DirectX 11 kompatibel	1GB	1920 x 1080 pixel mit True Color	8GB	
	Empfohlen	3+ GHz processor	4 GB GPU with 106 GB/s Bandweite und DirectX 12 kompatibel	4GB	3840 x 2160 pixel	16GB	
	Min.	Single- or Multi-Core Intel®, Xeon®, or i-Series Prozessor oder AMD® equivalent mit SSE2 Technologie	Display adapter 24-bit color		1280 x 1024 pixel mit true color	8GB	
	Empfohlen	Höchste CPU Geschwindigkeit	DirectX® 11 kompatibel mit Shader Model	4GB	UltraHigh (4k) Definition Monitor	32GB	
	Min.	Intel Core i5 or AMD Ryzen 5, oder	macOS: Metal GPUFamily1 oder neuer,	2GB	1440 x 900 pixel	8GB	

SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
		besser Apple M1 oder höher	Windows: DirectX 11 kompatibel				
	Empfohlen	3.0+ GHz Intel Core i7 or AMD Ryzen 7 with eight cores, oder besser  Apple M1 Max oder höher	macOS: Metal GPUFamily2 oder neuer, Windows: DirectX 11 kompatibel	8GB	1920 x 1080 pixel	32GB	
	Min.	64-Bit Intel oder AMD-Prozessor (Kein ARM)	OpenGL 4.1 kompatibel	-	-	8GB	
	Empfohlen	-	-	-	-	8+GB	
	Min.	64-bit Intel® or AMD® multi-core Prozessor mit SSE4.2 instruction set	-	-	-	4GB	

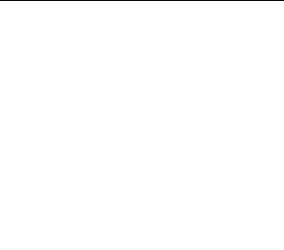
SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Empfohlen	-	-	-	-	8GB	
	Min.	1 GHz	3D class video card, kompatibel mit OpenGL 3.1 oder höher	512MB	-	4GB	
	Empfohlen	2+ GHz	3D class video card, kompatibel mit OpenGL 3.1 oder höher	1GB	-	8GB	
SOFTWARE – RENDERINGS, 3D RUNDGÄNGE, FILMERSTELLUNG							
	Min.	1st Gen Intel® Core™ kompatibler Prozessor mit SSE4.2	<b>V-Ray GPU</b> <b>CUDA:</b> Maxwell-, Pascal-, Volta- and Turing-based NVIDIA card(s) oder	-		4 GB RAM free	

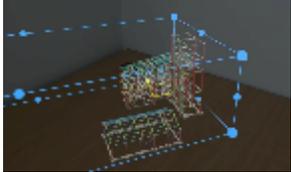
SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
		Unterstützung (64-bit)	zumindest Version 441.20.  The minimum required compute capability is 5.2*  <b>V-Ray GPU RTX:</b> RTX cards oder zumindest Version 441.28				
	Empfohlen	1st Gen Intel® Core™ oder kompatibler  Prozessor mit SSE4.2 Unterstützung (64-bit)	-	-	-	8GB	
	Min.	-	<i>NVIDIA or AMD, Vulkan 1.1 kompatibel NVIDIA GeForce GTX 900 series / Quadro M series and newer AMD Radeon RX 400 series / equivalent</i>	4GB	-	-	

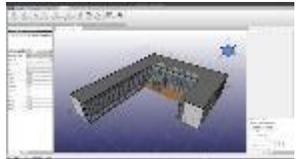
SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
			<i>Radeon Pro Serie oder neuer</i>				
	Empfohlen	-	<i>NVIDIA GeForce RTX 2070 / Quadro RTX 4000 or AMD equivalent (bspw. Radeon RX 5700 XT)</i>	6GB	-	-	
	Min.	Intel/AMD Prozessor scoring a single thread CPUMark of 2000 oder höher	GPU der die G3DMark von 7,000 erzielt oder höher	4GB	1920 x 1080 pixel	16GB	
	Empfohlen	Intel/AMD Prozessor scoring a single thread CPUMark of 2,200 oder höher	GPU, der die G3DMark von 14,000 erzielt oder höher	8GB	1920 x 1080 pixel	32GB	
SOFTWARE - VIRTUAL REALITY							

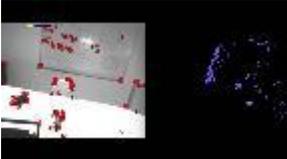
SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Min.	-	NVIDIA or AMD, <b>Vulkan 1.1 kompatibel</b> NVIDIA GeForce GTX 900 series / Quadro M series and newer AMD Radeon RX 400 series / equivalent  Radeon Pro Serie oder neuer	4GB	-	-	
	Empfohlen	-	NVIDIA GeForce RTX 2070 / Quadro RTX 4000 oder AMD equivalent (bspw. Radeon RX 5700 XT)	8GB	-	-	
	Zusätzliche Hardware - Headsets: Oculus Rift, Rift S, HTC Vive, Vive Pro, Samsung Odyssey						
	Min.	Intel i7-6700 equivalent oder besser	NVIDIA GTX 1070 equivalent oder besser	16GB	-	-	

SOFTWARE		PROZESSOR	Graphikkarte + RAM		BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Empfohlen	11th Gen Intel Core i7	GeForce RTX 3070		Full HD 144Hz	512GB SSD	
	Zusätzliche Hardware - Headsets: Vive Pro, Rift S						
		Zusätzliche Hardware - Headsets: Oculus, Microsoft Hololens, Vive, Playstations VR, Valve					
		Zusätzliche Hardware: Mobiles AR Gerät					

SOFTWARE	PROZESSOR	Graphikkarte + RAM	BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Zusätzliche Hardware - Headsets: HTC Vive, Oculus Rift, Oculus Quest, Mobile VR Geräte Kompatible Browser: Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, Safari, Microsoft Edge				
	Zusätzliches Mobiles VR Gerät				
	Zusätzliche Hardware - Headsets: HTC Vive, Oculus Rift, Windows Mixed Reality, Valve Index				
SOFTWARE - MIXED REALITY					
	Kompatibilität mit Revit, Navisworks, SketchUp und AutoCad				

SOFTWARE	PROZESSOR	Graphikkarte + RAM	BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
Zusätzliche Hardware: Headsets: Microsoft Hololens, Mobile MR Geräte					
	Zusätzliche Hardware - Headsets: Microsoft Hololens, XR10, Handy oder Tablet				
	Kompatibilität mit Revit, Navisworks  Zusätzliche Hardware - Headsets: Oculus Quest 2, Microsoft HoloLens				
	Zusätzliche Hardware - Headsets: Viveport, Oculus, Microsoft HoloLens, Pico				
	Zusätzliche Hardware - Headsets: Oculus, Microsoft Hololens, Vive, Playstations VR, Valve				
SOFTWARE – AUGMENTED REALITY					

SOFTWARE	PROZESSOR	Graphikkarte + RAM	BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
 Gamma AR	Kompatibilität mit Autodesk Construction Cloud, BIM 360  Zusätzliche Hardware - Headsets: HoloLens 2, Magic Leap, Mobile AR Geräte				
	-  Zusätzliche Hardware - Headsets: HoloLens 2, Mobile AR Geräte				
 <b>UNREAL ENGINE</b>	Zusätzliche Hardware - Headsets: Oculus, Microsoft HoloLens, Vive, Playstations VR, Valve				
	Zusätzliche Hardware: Mobiles AR Gerät				

SOFTWARE	PROZESSOR	Graphikkarte + RAM	BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Zusätzliche Hardware: Mobiles AR Gerät				
 ARKIT 6	Integriert in: Apple iPhone 12, 12 Pro und iPad Pro				
	Zusätzliche Hardware: Mobiles AR Gerät				
	Zusätzliche Hardware - Headsets: HoloLens, Epson Moverio, Vuzix, Mobiles AR Gerät				

SOFTWARE	PROZESSOR	Graphikkarte + RAM	BILDSCHIRMAUF- LÖSUNG	SPEICHER RAM	BEISPIEL
	Zusätzliche Hardware: Mobiles AR Gerät				
	Zusätzliche Hardware - Headsets: HoloLens 2, Realwear, Vuzix, Mobiles AR Gerät				
	Zusätzliches Mobiles AR Gerät				

## Anhang 11: Auswertung Präsenzworkshop

## Anhang 12: Auswertung der Onlineumfrage zur Ermittlung der Rangfolgen von Qualitätskriterien

### Anwendungsfall AWF 020 Rendering und Handskizzen

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	40	30	80	50	10	70	60
2	40	30	20	70	10	60	80
3	10	30	80	20	50	40	60
4	10	50	30	70	80	60	40
5	80	50	20	40	30	10	60
6	10	50	70	20	60	80	40
7	20	40	30	0	0	0	0
8	70	50	40	20	10	80	60
9	40	50	20	10	70	80	60
10	30	10	50	40	20	60	80
11	50	80	20	10	60	40	70
12	20	50	30	40	70	60	80

<b>Gesamt</b>	420	520	490	390	470	640	690
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0	1	0	0	0	1	6.	1
Auflösung	1		1	1	1	0	0	4	3.	2
Kompatibilität	1	0		1	1	0	0	3	4.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	0	0	1		0	0	2	5.	1
Sichtweise	1	1	1	1	1		0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

## Anwendungsfall AWF 020 Fotomontage

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	40	80	20	30	70	60	50
2	50	20	40	60	30	70	80
3	30	10	20	40	50	70	60
4	50	10	80	30	60	40	70
5	50	40	20	30	60	70	80
6	50	10	20	70	80	60	40
7	60	40	20	0	0	0	0
8	50	40	20	10	30	80	60
9	40	20	50	80	30	60	10
10	50	70	40	30	10	60	80
11	50	20	80	10	70	60	40
12	20	50	30	40	70	60	80

<b>Gesamt</b>	540	410	440	430	560	690	650
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	1	0	0	0	3	4.	1
Auflösung	0		0	0	0	0	0	0	7.	1
Kompatibilität	0	1		1	0	0	0	2	5.	1
Atmosphäre	0	1	0		0	0	0	1	6.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1		1	6	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	0		5	2.	2

## Anwendungsfall AWF 030 Rendering

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	50	0	70	60
2	20	40	60	10	70	30	80
3	0	0	0	60	0	70	80
4	0	60	0	0	0	80	70
5	30	60	40	20	70	10	50
6	0	0	80	50	60	0	70
7	30	40	20	70	80	60	10
8	60	20	30	80	50	40	10
9	30	70	20	10	50	40	80
10	40	20	50	10	30	70	80
11	30	60	20	80	40	50	10
12	10	40	30	20	80	70	50

<b>Gesamt</b>	250	410	350	460	530	590	650
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Auflösung	1	0	1	0	0	0	0	2	5.	1
Kompatibilität	1	0	0	0	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	1	1	1	0	0	0	0	3	4.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1	0	0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1	0	0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1	0	6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 030 Fotomontage

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	70	0	60	50
2	10	30	20	40	70	50	80
3	0	0	0	70	0	0	60
4	0	60	0	0	0	80	70
5	50	60	70	40	10	30	20
6	0	0	0	0	80	0	70
7	50	20	30	80	10	60	70
8	50	30	40	80	20	60	10
9	10	70	20	30	40	50	80
10	50	30	60	10	40	70	20
11	20	50	30	80	40	70	10
12	10	50	20	40	30	60	70
<b>Gesamt</b>	250	400	290	540	340	590	610

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Auflösung	1	0	1	0	1	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	1	0	0	0	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	1	1	1	0	1	0	0	4	3.	2
Realitätsgrad	1	0	1	0	0	0	0	2	5.	1
Sichtweise	1	1	1	1	1	0	0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1	0	6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 030 Bauablaufsimulation

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	0	0
2	30	40	20	10	70	60	80
3	0	0	0	0	0	0	80
4	0	0	0	0	0	80	0
5	50	60	80	10	30	20	40
6	80	0	70	0	0	0	0
7	80	40	60	10	50	20	70
8	30	50	10	20	40	60	80
9	80	60	50	10	30	40	70
10	30	20	50	10	80	40	70
11	50	80	40	10	30	60	20
12	60	50	10	20	70	30	80
<b>Gesamt</b>	490	400	390	100	400	410	590

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	1	1	1	0	5	2.	2
Auflösung	0		1	1	0,5	0	0	2,5	4.	1
Kompatibilität	0	0		1	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	0	0,5	1	1		0	0	2,5	4.	1
Sichtweise	0	1	1	1	1		0	4	3.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 050 Rendering

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	70	0
2	80	20	70	10	50	30	60
3	0	0	80	0	0	0	70
4	0	60	0	0	0	80	70
5	30	20	80	10	60	50	40
6	50	0	0	0	70	0	60
7	30	60	40	10	50	80	70
8	30	40	20	10	80	50	70
9	70	50	80	10	20	30	40
10	20	40	50	10	30	70	80
11	30	40	50	10	80	70	20
12	10	40	50	20	80	60	70

<b>Gesamt</b>	350	370	520	90	520	590	650
---------------	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0	1	0	0	0	1	6.	1
Auflösung	1		0	1	0	0	0	2	5.	1
Kompatibilität	1	1		1	0,5	0	0	3,5	4.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1		0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 050 Animationsfilm

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	70	0
2	40	30	50	10	70	20	80
3	0	0	0	80	0	0	0
4	0	60	0	0	0	80	70
5	20	30	10	60	70	50	40
6	0	0	0	0	60	70	80
7	30	40	10	20	50	80	70
8	20	60	10	50	70	80	30
9	10	80	20	30	70	60	50
10	10	80	20	60	70	50	30
11	10	50	20	40	70	60	30
12	10	20	50	30	70	40	80
<b>Gesamt</b>	150	450	190	380	600	660	560

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Auflösung	1		1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	1	0		0	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	1	0	1		0	0	0	2	5.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		0	1	5	2.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1		1	6	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	0	0		4	3.	2

### Anwendungsfall AWF 050 Bauablaufsimulation

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	0	0
2	50	30	40	10	60	70	80
3	0	0	0	0	0	0	80
4	0	0	0	0	0	80	70
5	50	60	40	10	30	20	80
6	0	0	0	0	60	0	70
7	20	40	30	10	80	60	50
8	20	30	50	10	80	70	40
9	70	50	40	10	60	30	80
10	20	50	30	10	70	40	80
11	20	50	40	10	70	80	30
12	70	40	50	20	60	30	80

<b>Gesamt</b>	320	350	320	90	570	480	740
---------------	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0,5	1	0	0	0	1,5	5.	1
Auflösung	1		1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	0,5	0		1	0	0	0	1,5	6.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		1	0	5	2.	2
Sichtweise	1	1	1	1	0		0	4	3.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 060 AR

#	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	0	80
2	20	30	40	60	60	70	80
3	0	0	0	0	0	0	80
4	70	60	0	0	0	20	80
5	40	30	50	60	60	40	70
6	80	70	0	50	50	20	0
7	80	30	70	60	60	60	50
8	30	50	20	80	80	10	70
9	70	30	60	50	50	30	80
10	80	70	60	50	50	70	40
11	40	50	30	80	80	60	60
12	50	20	30	70	70		80

<b>Gesamt</b>	560	440	360	560	560	380	770
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	0,5	0,5	1	0	4	2.	2
Auflösung	0		1	0	0	1	0	2	5.	1
Kompatibilität	0	0		0	0	0	0	0	7.	1
Atmosphäre	0,5	1	1		0,5	1	0	4	2.	2
Realitätsgrad	0,5	1	1	0,5		1	0	4	2.	2
Sichtweise	0	0	1	0	0		0	1	6.	1
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 060 Animationsfilm

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	70	80
2	40	30	50	10	60	80	70
3	0	0	0	80	0	0	70
4	0	50	0	0	60	80	70
5	20	30	70	40	60	10	50
6	0	0	70	0	60	0	0
7	10	30	40	80	70	60	50
8	30	50	20	10	70	80	60
9	70	50	40	20	30	60	80
10	80	60	40	30	50	70	20
11	10	50	20	40	70	80	30
12	10	40	20	50	80	60	70

<b>Gesamt</b>	270	390	370	360	610	650	650
---------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Auflösung	1		1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	1	0		1	0	0	0	2	5.	1
Atmosphäre	1	0	0		0	0	0	1	6.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		0	0	4	3.	2

Sichtweise	1	1	1	1	1		0,5	5,5	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	0,5		5,5	1.	2

### Anwendungsfall AWF 090 Rendering

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	60	50	70
2	30	40	10	20	70	60	80
3	0	0	0	0	60	0	70
4	0	50	40	0	60	80	70
5	20	50	70	10	70	30	60
6	80	0	20	0	50	0	40
7	10	50	10	30	80	70	40
8	20	40	20	80	70	50	30
9	30	50	20	10	60	70	80
10	80	70	10	40	30	60	10
11	20	70	50	50	40	80	30
12	70	40		10	30	20	80
<b>Gesamt</b>	360	460	250	250	680	570	660

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	1	1	0	0	0	2	5.	1
Auflösung	1		1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	0	0		0,5	0	0	0	0,5	6.	1

Atmosphäre	0	0	0,5		0	0	0	0,5	6.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		1	1	6	1.	2
Sichtweise	1	1	1	1	0		1	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	0	1		5	2.	2

### Anwendungsfall AWF 090 Fotomontage

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	50	70	60
2	20	40	10	30	70	50	60
3	0	0	0	0	0	0	70
4	0	60	0	0	0	80	70
5	50	60	40	10	30	20	80
6	0	0	0	0	70	0	70
7	30	60	20	50	10	80	40
8	40	60	20	80	30	70	10
9	10	80	20	30	40	70	50
10	60	10	50	80	30	70	20
11	20	50	10	80	40	70	30
12	70	30	40	20	10	60	80
<b>Gesamt</b>	300	450	210	380	380	640	640

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	1	0	0	0	0	1	7.	1

Auflösung	1		1	1	1	0	0	4	4.	2
Kompatibilität	0	0		0	0	0	0	0	5.	1
Atmosphäre	1	0	1		0,5	0	0	2,5	6.	1
Realitätsgrad	1	0	1	0,5		0	0	2,5	3.	1
Sichtweise	1	1	1	1	1		0,5	5,5	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	0,5		5,5	1.	2

### Anwendungsfall AWF 120 Animationsfilm

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	80	0
2	40	30	20	10	70	80	70
3	0	0	0	70	0	0	80
4	0	50	0	0	0	80	60
5	20	70	10	80	50	30	40
6	80	0	70	0	50	0	40
7	80	70	60	40	30	20	10
8	40	20	30	10	70	60	50
9	10	80	20	40	60	50	70
10	20	30	40	10	80	50	70
11	30	20	60	10	50	80	40
12	70	50	60	20	40	30	80
<b>Gesamt</b>	390	420	370	290	500	560	610

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit	0	0	1	1	0	0	0	2	5.	1
Auflösung	1	0	1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	0	0	0	1	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	0	0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1	0	0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1	0	0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1	0	6	1.	2

## Anwendungsfall AWF 120 Bauablaufsimulation

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	80	0
2	50	40	30	10	70	60	80
3	0	0	0	70	0	0	80
4	0	50	0	0	0	80	60
5	30	40	50	20	60	10	70
6	80	0	70	0	50	0	40
7	80	60	70	40	30	20	10
8	50	30	40	10	60	20	70
9	80	20	30	10	40	50	70
10	20	40	50	10	80	30	70
11	30	20	40	10	80	60	70
12	70	50	60	10	20	30	80
<b>Gesamt</b>	490	350	440	190	490	440	700

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	1	0	0	0	0	1	7.	1
Auflösung	1		1	1	1	0	0	4	4.	2
Kompatibilität	0	0		0	0	0	0	0	5.	1
Atmosphäre	1	0	1		0,5	0	0	2,5	6.	1
Realitätsgrad	1	0	1	0,5		0	0	2,5	3.	1
Sichtweise	1	1	1	1	1		0,5	5,5	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	0,5		5,5	1.	2

### Anwendungsfall AWF 130 AR

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	0	80
2	50	60	10	70	20	40	30
3	0	0	0	0	70	0	80
4	0	50	0	0	0	80	60
5	30	50	40	20	70	10	80
6	0	0	0	0	70	0	0
7	70	30	80	10	20	50	60
8	80	50	30	10	70	40	60
9	80	70	60	10	30	40	50
10	40	30	50	10	80	70	60
11	50	40	60	10	80	20	70
12	70	30	40	20	60	50	80

Gesamt	470	410	370	160	570	400	710
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	1	0	1	0	4	3.	2
Auflösung	0		1	1	0	1	0	3	4.	1
Kompatibilität	0	0		1	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		1	0	5	2.	2
Sichtweise	0	0	1	1	0		0	2	5.	1
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 130 Animationsfilm

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	80	70
2	10	50	20	70	40	60	30
3	0	0	0	80	0	0	60
4	0	50	0	0	0	80	60
5	20	30	10	70	60	40	50
6	0	0	0	0	70	0	0
7	20	30	70	10	50	80	60
8	40	80	10	20	70	50	60
9	10	60	20	30	50	70	80
10	30	40	50	10	70	80	60

11	30	60	20	10	50	70	40
12	10	40	50	30	60	70	80
<b>Gesamt</b>	170	440	250	330	520	680	650

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Auflösung	1		1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	1	0		0	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	1	0	1		0	0	0	2	5.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1		0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1		1	6	1.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	0		5	2.	2

## Anwendungsfall AWF 130 VR

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	0	0	80
2	50	60	10	80	40	30	20
3	0	0	0	0	0	0	70
4	70	50	0	0	0	0	60
5	20	30	10	70	60	40	50
6	0	0	0	0	70	0	0
7	70	40	50	10	30	60	80
8	80	30	70	10	60	40	50

9	80	50	60	10	40	20	70
10	20	30	40	10	70	80	60
11	30	40	20	10	80	50	70
12	70	20	50	10	40	60	80
<b>Gesamt</b>	<b>490</b>	<b>350</b>	<b>310</b>	<b>210</b>	<b>490</b>	<b>380</b>	<b>690</b>

	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	2	0,5	1	0	<b>5,5</b>	2.	<b>2</b>
Auflösung	0		1	1	0	0	0	<b>2</b>	5.	<b>1</b>
Kompatibilität	0	0		1	0	0	0	<b>1</b>	6.	<b>1</b>
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	<b>0</b>	7.	<b>1</b>
Realitätsgrad	0,5	1	1	1		1	0	<b>4,5</b>	3.	<b>2</b>
Sichtweise	0	1	1	1	0		0	<b>3</b>	4.	<b>1</b>
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		<b>6</b>	1.	<b>2</b>

### Anwendungsfall AWF 140 AR

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	70	0	80
2	30	70	20	10	40	50	60
3	0	0	0	60	0	0	70
4	80	0	0	0	0	0	60
5	30	40	50	20	70	10	80
6	80	0	0	0	60	50	0

7	40	20	70	10	60	30	80
8	60	30	50	10	70	40	80
9	80	60	50	10	30	20	70
10	20	30	40	10	80	70	60
11	80	30	70	10	50	40	60
12	70	40	60	10	20	50	80
<b>Gesamt</b>	570	320	410	150	550	360	780

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	1	1	1	0	5	2.	2
Auflösung	0		0	1	0	0	0	1	6.	1
Kompatibilität	0	1		1	0	1	0	3	4.	1
Atmosphäre	0	0	0		0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	0	1	1	1		1	0	4	3.	2
Sichtweise	0	1	0	1	0		0	2	5.	1
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1		6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 140 Animationsfilm

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	60	80	70
2	10	70	20	60	50	40	30
3	0	0	0	70	0	0	80
4	0	50	0	0	0	80	60

5	30	40	50	20	60	10	80
6	0	0	0	0	0	0	0
7	20	30	70	10	40	50	80
8	50	60	20	10	70	40	80
9	10	70	20	30	50	40	80
10	30	40	50	10	80	70	60
11	20	40	30	10	70	60	80
12	10	50	30	40	60	70	80
<b>Gesamt</b>	180	450	290	260	540	540	780

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	2.	1
Auflösung	1	0	1	1	0	0	0	3	5.	1
Kompatibilität	1	0	0	1	0	0	0	2	6.	1
Atmosphäre	1	0	0	0	0	0	0	1	7.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1	0	0,5	0	4,5	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	0,5	0	0	4,5	4.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1	0	6	1.	2

### Anwendungsfall AWF 140 VR

Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
1	0	0	0	0	70	0	80
2	20	80	10	30	40	60	50

3	0	0	0	80	0	0	70
4	80	50	0	0	0	0	60
5	30	50	60	20	40	10	80
6	80	0	0	0	60	0	0
7	50	20	80	10	30	70	40
8	40	50	30	10	70	60	80
9	80	70	40	10	50	20	60
10	20	30	40	10	70	60	50
11	80	20	50	10	60	30	70
12	70	20	50	30	40	60	80
<b>Gesamt</b>	<b>550</b>	<b>390</b>	<b>360</b>	<b>210</b>	<b>530</b>	<b>370</b>	<b>720</b>

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit		1	1	1	1	1	1	<b>6</b>	1.	<b>2</b>
Auflösung	0		1	1	1	0	1	<b>4</b>	3.	<b>2</b>
Kompatibilität	0	0		1	1	0	0	<b>2</b>	6.	<b>1</b>
Atmosphäre	0	0	0		0,5	0	0	<b>0,5</b>	7.	<b>1</b>
Realitätsgrad	0	0	0	0,5		0	0	<b>0,5</b>	3.	<b>1</b>
Sichtweise	0	1	1	1	1		1	<b>5</b>	2.	<b>2</b>
Detaillierungsgrad	0	0	1	1	1	0		<b>3</b>	4	<b>1</b>

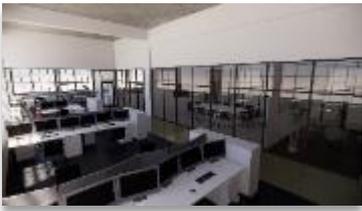
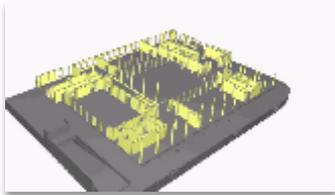
### Anwendungsfall AWF 140 Bauablaufsimulation

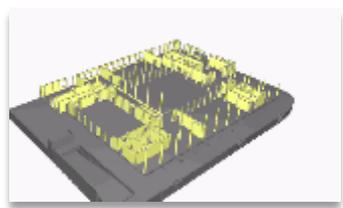
Teilnehmer	Benutzerfreundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungsgrad
------------	------------------------	-----------	----------------	------------	---------------	------------	--------------------

1	0	0	0	0	60	70	50
2	50	40	30	20	10	70	80
3	0	0	0	0	0	0	70
4	0	50	0	0	0	80	60
5	30	40	60	20	70	10	80
6	0	0	0	0	0	0	0
7	40	20	60	10	70	50	80
8	40	30	50	10	70	60	80
9	80	60	50	10	20	40	70
10	30	40	20	10	80	70	60
11	30	40	20	10	70	50	80
12	60	50	30	10	20	70	80
<b>Gesamt</b>	<b>360</b>	<b>370</b>	<b>320</b>	<b>100</b>	<b>470</b>	<b>570</b>	<b>790</b>

	Benutzer- freundlichkeit	Auflösung	Kompatibilität	Atmosphäre	Realitätsgrad	Sichtweise	Detaillierungs- grad	Summe	Rang	Gewichtung
Benutzerfreundlichkeit	0	1	1	0	0	0	0	2	5.	1
Auflösung	1	0	1	1	0	0	0	3	4.	1
Kompatibilität	0	0	0	1	0	0	0	1	6.	1
Atmosphäre	0	0	0	0	0	0	0	0	7.	1
Realitätsgrad	1	1	1	1	0	0	0	4	3.	2
Sichtweise	1	1	1	1	1	0	0	5	2.	2
Detaillierungsgrad	1	1	1	1	1	1	0	6	1.	2

### Anhang 13: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala

REALITÄTSGRAD		
<p><b>Formgebung:</b> „Formgebung bezeichnet einen mehrdimensionalen kreativen Prozess, der darauf abzielt, materielle Objekte zu schaffen, die eine spezifische Wirkung auf den Benutzer haben. Sie umfasst sowohl die ästhetische Gestaltung als auch die technische Umsetzung und die Berücksichtigung von ergonomischen und funktionalen Aspekten.“</p>		
R3	R2	R1
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% der echten Form des Objektes.	entspricht zu 50-75% der echten Form des Gebäudes.	entspricht zu weniger als 50% der echten Form des Gebäudes.
Rendering, Animationsfilm 	3D-Druck, AR 	Bauablaufsimulation, VR 
<p><b>Farb- und Materialwahl:</b> „Die Farb- und Materialverwendung beschreibt den Prozess der Gestaltung von Objekten und Räumen unter Berücksichtigung von Farbe und Material. Dabei geht es darum, eine harmonische und sinnvolle Verbindung von Farbe, Material und Funktion zu schaffen, die den Bedürfnissen und Erwartungen der Zielgruppe entspricht.“</p>		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% den echten Farben und Materialien des Objektes.	entspricht zu 50-75% den echten Farben und Materialien des Objektes.	entspricht zu weniger als 50% den echten Farben und Materialien des Objektes.
Rendering, Animationsfilm 	AR, VR 	3D-Druck, Bauablaufsimulation 
<p><b>Kontextualisierung:</b> Kontextualisierung bzw. Kontext bezieht sich bei einer Bauwerksvisualisierung auf alle Informationen, die verwendet werden können, um die Situation des betrachteten Bauwerks zu charakterisieren. Dabei können sowohl Informationen über das Bauwerk selbst als auch über seine Umgebung relevant sein. Ein System zur Bauwerksvisualisierung ist kontextualisiert, wenn es den Kontext nutzt, um dem Benutzer relevante Informationen und/oder Dienste bereitzustellen, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen des Betrachters abgestimmt sind. Die Relevanz von Informationen und Diensten hängt dabei von der beabsichtigten Nutzung der Bauwerksvisualisierung ab.</p>		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	entspricht zu 50-75% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	entspricht zu weniger als 50% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.

Rendering, Animationsfilm 	AR, 3D-Druck 	VR, Bauablaufsimulation 
--	---	--

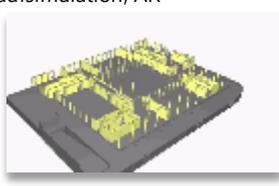
**DETAILIERUNGSGRAD**

**Detailierung:** „Detailierungsgrad, Fertigstellungsgrad oder auch Informationsgrad sind Bezeichnungen, die den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen beschreiben. Im englischsprachigen Raum wird meist das Akronym LOD verwendet, das je nach Definition für Level of Detail, Level of Development oder Level of Definition steht

D3	D2	D1
Detailiert	Vereinfacht	Symbolisch
75-100% der Details der Objekte sind sichtbar.	50-75% der Details der Objekte sind sichtbar.	weniger als 50% der Details der Objekte sind sichtbar.
Rendering, Animationsfilm 	Bauablaufsimulation, VR 	3D-Druck, AR 

**BENUTZERFREUNDLICHKEIT**

Unter Benutzerfreundlichkeit versteht man die Qualität, mit der ein Benutzer mit einem Produkt/System interagieren kann. Benutzerfreundlichkeit ist definiert als das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Nutzer in einem Nutzungskontext verwendet werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ (ISO-Norm DIN EN ISO 9241, 11)

B3	B2	B1
Hoch	Mittel	Gering
bedeutet, dass der Nutzer volle Kontrolle über die Bauwerksvisualisierung erlangen kann (Orientierung, Ablaufgeschwindigkeit, Freiheit in der Bewegung, ...).	bedeutet, dass der Nutzer teilweise Einschränkungen in der Kontrolle über die Bauwerksvisualisierung erfahren kann (Orientierung, Ablaufgeschwindigkeit, Freiheit in der Bewegung, ...).	bedeutet, dass der Nutzer keine Kontrolle über die Bauwerksvisualisierung erlangen kann (fixe Orientierung, feste Ablaufgeschwindigkeit, keine Freiheit in der Bewegung, ...).
VR, Animationsfilm 	Rendering, 3D-Druck 	Bauablaufsimulation, AR 

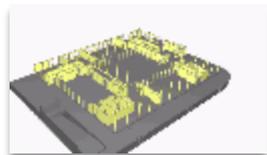
**AUFLÖSUNG**

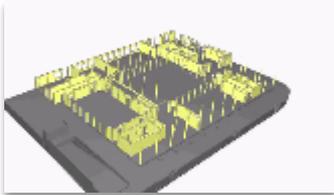
Es gibt zwei Möglichkeiten, die Auflösung eines optischen Systems zu beschreiben: Zum einen kann sie durch die Strahlgröße definiert werden, zum anderen durch den räumlichen Frequenzgang eines optischen Systems, der aus der Fourier-Transformation der Strahlintensitätsverteilung berechnet wird. Das Rayleigh-Kriterium kann auf die Definition der Auflösung angewandt und verallgemeinert werden, indem die Intensitätsverteilung eines Strahls anstelle des Airy-Musters verwendet

wird. Das Rayleigh-Kriterium wird aus dem Kontrast im Bild für benachbarte punktförmige Objekte bestimmt. Die Auflösung wird in DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) ausgedrückt.

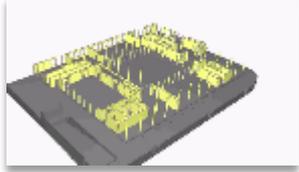
A3	A2	A1
Hoch	Mittel	Gering
entspricht ein DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) von 200-300 DPI.	entspricht ein DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) von 100-200 DPI.	entspricht ein DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) von weniger als 100 DPI.
Rendering, Animationsfilm 	3D-Druck, VR 	Bauablaufsimulation, AR 

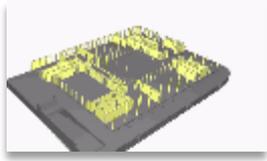
ATMOSPHERE		
<p><b>Szene:</b> Eine Szene ist innerhalb des Forschungsprojekts definiert als die zentrale Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Verhaltensplanung. Innerhalb der Verhaltensplanung ist die Situation eine zentrale Schnittstelle. Ein Szenario wird oft zur funktionalen Beschreibung eines Systems oder zur Spezifikation von Testfällen verwendet.</p>		
AT3	AT2	AT1
Hoch	Mittel	Gering
Realismus und Detailgrad sind herausragend. Die Szene wirkt äußerst realistisch, und feinste Details sind sorgfältig ausgearbeitet. Die Texturen und Beleuchtungseffekte sind beeindruckend. (75-100% Realismus)	Realismus und Detailgrad sind akzeptabel. Die Szene ist realistisch genug, um verstanden zu werden, aber es gibt noch Raum für mehr Details und Feinabstimmung. Die Texturen und Beleuchtungseffekte sind angemessen. (50-75% Realismus)	Realismus ist unzureichend, und es fehlt an Details. Die Szene wirkt grob und abstrakt. Es mangelt an realistischen Texturen und Beleuchtungseffekten. (Weniger als 50% Realismus)
AR, VR 	Animationsfilm, Rendering 	3D-Druck, Bauablaufsimulation 
<p><b>Nutzung Licht und Schatten:</b> In der Bauwerksvisualisierung sind Licht und Schatten ebenfalls elementare Bestandteile. Sie dienen nicht nur der räumlichen Definition des Bauwerks, sondern sind auch entscheidend für die atmosphärische Wirkung und die Hervorhebung einzelner Elemente. Die gezielte Lichtführung kann dazu beitragen, die Architektur des Gebäudes zu betonen und die Aufmerksamkeit des Betrachters auf bestimmte Bereiche zu lenken.</p>		
Hoch	Mittel	Gering
Licht- und Schatteneffekte sind hervorragend. Sie schaffen eine realistische Räumlichkeit und Tiefe in der Szene. Die wesentlichen Elemente der Szene werden betont. Schatten und Beleuchtung sind harmonisch aufeinander abgestimmt und tragen wesentlich zur visuellen Wirkung bei.	Licht- und Schatteneffekte sind durchschnittlich. Einige wichtige Elemente, aber nicht alle, werden betont. Die Hervorhebung könnte in einigen Bereichen verstärkt werden. Sie verleihen der Szene eine gewisse Räumlichkeit und visuelle Tiefe. Es gibt Raum für Verbesserungen in der Variation und Intensität der Effekte.	Licht- und Schatteneffekte sind minimal oder unzureichend. Die wichtigen Elemente der Szene werden nicht betont. Wichtige Details gehen verloren oder werden nicht effektiv hervorgehoben. Die Szene wirkt flach und leblos, ohne räumliche Tiefe. Schatten und Beleuchtung tragen nicht zur visuellen Wirkung bei.

Rendering, Animationsfilm 	AR, VR 	3D-Druck, Bauablaufsimulation 
<p><b>Komposition:</b> „Die Komposition in der Architektur bezeichnet den gestalterischen Prozess der Anordnung von Formen, Linien und Flächen, um ein harmonisches und ausgewogenes Ganzes zu schaffen.“</p>		
Ansprechend	Teilweise ansprechend	Nicht ansprechend
Bildkomposition und Gestaltung sind exzellent. Die Szene ist gut strukturiert, und die wichtigen Elemente werden hervorgehoben. Die Anordnung ist kreativ und visuell ansprechend.	Bildkomposition und Gestaltung sind durchschnittlich. Die wichtigen Elemente sind erkennbar, aber es gibt Raum für Verbesserungen. Die Anordnung ist solide, aber es fehlt an kreativer Originalität.	Bildkomposition und Gestaltung weisen Mängel auf. Die Szene ist unübersichtlich, und die wichtigen Elemente sind nicht klar erkennbar. Die Anordnung der Elemente wirkt ungeordnet, und es fehlt an visuellem Fokus.
Rendering, Animationsfilm 	AR, 3D-Druck 	VR, Bauablaufsimulation 

SICHTWEISE		
<p><b>Intuitive Orientierung:</b> „Intuitive Orientierung beschreibt die Fähigkeit eines Nutzers, sich in einer neuen Umgebung oder Situation ohne explizite Anleitung oder Instruktionen zurechtzufinden. Diese Fähigkeit beruht auf einer Kombination aus individuellen Faktoren wie Erfahrung und Wissen sowie auf den Eigenschaften der Umgebung oder des Produkts, die eine natürliche Orientierung und Nutzung ermöglichen.“</p>		
S3	S2	S1
Leicht	Mittel	Schwer
Der Nutzer kann sich ohne Einarbeitung in der Bauwerksvisualisierung orientieren.	Der Nutzer benötigt eine kurze Einweisung, um die Bauwerksvisualisierung bedienen zu können.	Der Nutzer braucht eine intensive Einarbeitung, bevor er in der Lage ist, die Bauwerksvisualisierung bedienen zu können.
3D-Druck, Rendering 	Animationsfilm, Bauablaufsimulation 	VR, AR 

KOMPATIBILITÄT		
Eine Bauwerksvisualisierung sollte mit einer Vielzahl von Geräten und Plattformen kompatibel sein, um eine maximale Reichweite zu ermöglichen. Dabei stellt Kompatibilität v. a. die Möglichkeit dar, verschiedene Hardwarekomponenten (z. B. Geräte unterschiedlicher Hersteller) bzw. verschiedene Softwareprodukte zusammen oder aufeinander abgestimmt zu benutzen.		
K3	K2	K1
Hoch	Mittel	Gering

Die Bauwerksvisualisierung kann ohne oder mit wenigem Aufwand über andere Medien übertragen und betrachtet werden.	Die Bauwerksvisualisierung kann mit mittlerem Aufwand über andere Medien übertragen und betrachtet werden.	Die Bauwerksvisualisierung kann mit sehr hohem Aufwand oder gar nicht über andere Medien übertragen und betrachtet werden.
VR, Animationsfilm 	Bauablaufsimulation, Rendering 	3D-Druck, AR 

DARSTELLUNGSFORM		
<p><b>Art der Darstellung:</b> Unter Darstellung versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks.</p>		
K3	K2	K1
Interaktiv	Dynamisch	Statisch
Der Nutzer kann in der Bauwerksvisualisierung mit dem Objekt interagieren und mitgestalten.	Die Bauwerksvisualisierung ermöglicht Bewegung und die Veränderung von Positionen und Geschwindigkeiten im Laufe der Zeit.	Die Visualisierung ist fix und ermöglicht keine Bewegung über die Zeit.
AR, VR 	Animationsfilm, Bauablaufsimulation 	3D-Druck, Rendering 

## Anhang 14: Mehrdimensionale Matrix zur Ermittlung des anwendungsfallsspezifischen LoV

AWF 020 – Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 020 – Fotomontage

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 030 – Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 030 – Fotomontage

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	2
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	Realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	Realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 030 – Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 050 - Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah						3	
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 050 - Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 050 - Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering						1	
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
							<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>		

AWF 060 – AR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	2
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering						1	
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah						3	
		symbolisch						1	
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah						1	
		symbolisch						1	
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunktzahl Erreichter LoV			

AWF 060 - Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 090 – Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering						1	
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah						3	
		symbolisch						1	
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah						1	
		symbolisch						1	
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
							<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>		

AWF 090 – Fotomontage

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering						1	
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah						3	
		symbolisch						1	
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah						1	
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
							<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>		

AWF 120 – Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 120 – Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 130 – AR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 130 – Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 130 – VR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 140 - AR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 140 – Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

AWF 140 - VR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah						1	
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	1
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						<b>Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV</b>			

AWF 140 – Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewich-tungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering	1			
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunkt-zahl Erreichter LoV			

Anhang 15: LoV- Leitfaden



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



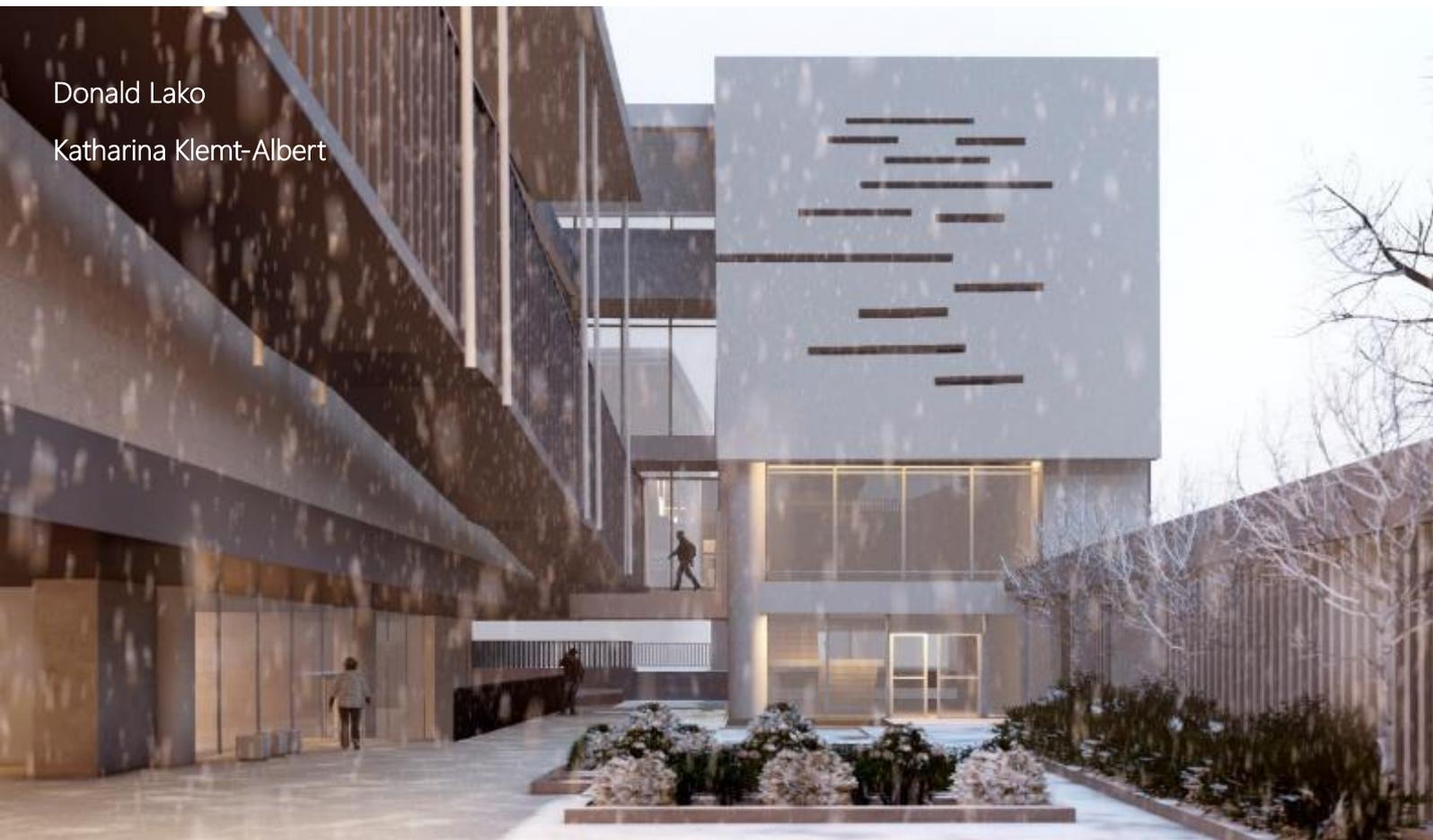
**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

# LoV-Leitfaden

## Entwicklung eines Level of Visualization zur Standardisierung der Anforderungen an Bauwerksvisualisierungen

Donald Lako

Katharina Klemt-Albert



# Level of Visualization

Praxisleitfaden

## Vorwort

Building Information Modeling (BIM) hat sich als führende Methode in der Digitalisierung der Baubranche etabliert. Das BIM-Modell als digitale Repräsentation realer Objekte bietet vielfältige Möglichkeiten zur Bewältigung der wachsenden Projektanforderungen, insbesondere im Hinblick auf die Komplexität von Projekten mit zahlreichen Akteuren, Ressourcen und Qualitätsanforderungen. Ein Schlüsselaspekt dabei ist die Rolle von Bauwerksvisualisierungen.

Die Bedeutung von Bauwerksvisualisierungen in Projekten wurde bereits früh erkannt, angefangen von einfachen Skizzen bis hin zu oft handgefertigten haptischen Modellen oder komplexen CAD-Modellen, die mit Bauwerksinformationen angereichert sind.

Visualisierungen spielen eine zentrale Rolle in der Kommunikation und dem Austausch zwischen den Projektbeteiligten. Mit der fortschreitenden Digitalisierung eröffnen sich neue Methoden für die Visualisierung von Bauwerken, von der Planung über die Genehmigung bis hin zum Bau und Betrieb.

Trotz der anerkannten Relevanz von Visualisierungen im Kommunikationsprozess zwischen den Projektbeteiligten bestehen immer noch Unsicherheiten hinsichtlich der Definition und Beschreibung von Visualisierungen. Bisher fehlen jedoch branchenweite Standards für die Beschreibung und Bewertung von Bauwerksvisualisierungen.

Die Forschungslücke, die sich aus dieser Situation ergibt, bildet den Fokus dieses Projekts. Der Level of Visualization (LoV) wird hierbei als Stufensystem entwickelt und in diesem Leitfaden zusammengefasst. Ziel dieses Leitfadens ist es, Auftraggebern und Auftragnehmern eine Orientierungshilfe für die Beschreibung und Bewertung von Visualisierungen als Bauprojektleistungen zu bieten und gleichzeitig den effektiven Einsatz von Visualisierungen in Bauprojekten zu fördern.



## Inhalt

<b>Vorwort</b>	246
<b>I. Einleitung</b>	249
<b>II. Definition von Bauwerksvisualisierungen</b>	253
III. Gängige Visualisierungsarten im Bauwesen	258
IV. Qualitätsbeschreibung der Bauwerksvisualisierungen	271
V. Relevante BIM-Anwendungsfälle zum Einsatz von Bauwerksvisualisierungen	278
VI. Definition des LoV-Konzepts zur Bewertung von Bauwerksvisualisierungen	279
VII. Schlusswort	285
VIII.	
	Abbildungsverzeichnis
Inhaltsverzeichnis	287
IX. Tabellenverzeichnis	288
X. Anhänge	289
ANHANG 1: BIM-LoVE-Glossar .....	290
ANHANG 2: Definition der Qualitätskriterien.....	309
ANHANG 3: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala.....	314
ANHANG 4: LoV-Matrix für priorisierte BIM-Anwendungsfälle.....	319
XI. Literatur	342

## Einleitung

Visualisierungen spielen heutzutage in unserem Alltag eine immer größer werdende Rolle und begegnen uns in verschiedensten Situationen. Sie erfüllen dabei eine Vielzahl von Zwecken und Anforderungen.

Bauwerksvisualisierungen spielen heutzutage auch in der Bauindustrie eine wesentliche Rolle und sind als entscheidende Kommunikationsmittel im Planungs- sowie Bauprozess unerlässlich. So werden Bauwerksvisualisierungen in Bauprojekten als Kommunikationsmittel eingesetzt, um Informationen zwischen den zahlreichen Stakeholdern eines Projekts auszutauschen und durch Kommunikationsprobleme induzierte Konfliktsituationen im Vorhinein zu vermeiden. Besonders im Rahmen öffentlicher Bauvorhaben fördern Visualisierungen für Bürger und Nutzer einen transparenten Einblick in die ansonsten sehr komplexe Planung, wodurch die Akzeptanz gesteigert werden kann. Darüber hinaus werden die Kommunikation und Entscheidungsfindung für Fachfremde dank Bauwerksvisualisierungen erleichtert. Dabei regen Bauwerksvisualisierungen insbesondere die Vorstellungskraft an und können zu einer detaillierteren Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Bauprojekt bewegen.

### **Problematik von Visualisierungen in der Baubranche**

Während traditionelle Visualisierungen wie bspw. Handskizzen schon seit geraumer Zeit in der Architektur und Bauindustrie verwendet werden, ergeben sich durch den aus der Digitalisierung resultierenden technischen Fortschritt fortlaufend neue Möglichkeiten. Diese erstrecken sich von den Anfängen digitaler Strichzeichnungen mittels CAD-Software über fotorealistische Darstellungen als Renderings bis hin zu haptischen 3D-Drucken und immersiven VR-Umgebungen. Dabei besteht ein großer Bedarf an standardisierten Qualitätskriterien für Bauwerksvisualisierungen, da in vielen Projekten das Erfordernis nach qualitativ hochwertigen Visualisierungen entsteht. Allerdings mangelt es noch an klaren Standards und konkreten Definitionen, die diese erforderliche Qualität von Visualisierungen quantifizieren. Dies erschwert die konkrete Ausschreibung und Definition von Visualisierungsleistungen, da keine standardisierten Kriterien zur Einordnung angemessener Qualität und dem damit verbundenen Aufwand bestehen.

Das Forschungsprojekt BIM-LoVE hat sich aufgrund dessen das Ziel gesetzt, einen standardisierten Level of Visualization (LoV) unter Berücksichtigung bestehender LOIN/LOD-Definitionen zu entwickeln. Dies soll in Form eines Stufenkonzepts eine Antwort auf die bestehende Lücke zur Bewertung von Bauwerksvisualisierungen bieten. Dabei fasst der nachfolgende BIM-LoVE-Leitfaden auf eine benutzerfreundliche Weise die Ergebnisse des zugrundeliegenden Forschungsprojekts zusammen, um als Handlungsanweisung für

Projekte und produktneutrale Ausschreibungen zu dienen. Auf diese Weise soll die Qualität von Visualisierungen gesteigert und der Einsatz präzisiert sowie effizienter gestaltet werden.

### **Zielsetzung des Leitfadens**

Das Ziel des BIM-LoVE-Leitfadens ist, dass insbesondere öffentliche und private Auftraggeber und Auftragnehmer die Möglichkeit erhalten, sich eine objektive Perspektive über die Bauwerksvisualisierungen anzueignen. Bauwerksvisualisierung in Bauprojekten sind ein höchst umstrittenes Thema. Insbesondere der Aufwand für Visualisierungen und die damit verbundenen finanziellen Investitionen für die Erstellung sind Diskussionssthema in Bauprojekten. Allerdings ist es unumstritten, dass Visualisierungen einen wichtigen Beitrag zur Kommunikation mit verschiedenen internen und externen Stakeholdern leisten. Der BIM-LoVE-Leitfaden soll einerseits bei der Beschreibung der Qualität von Bauwerksvisualisierung als Hilfsmittel eingesetzt werden können und andererseits für die Bepreisung und Beauftragung von Bauwerksvisualisierungen in einem Projekt bzw. für objektive Preis-Leistungs-Verhältnisse auf dem Markt sorgen. Das Interesse an dem Projekt wurde in Absprache mit weiteren Akteuren in der Baubranche bestätigt, da die Mehrwerte der Projekte sehr ersichtlich angesichts der beschriebenen Thematik als sehr relevant einzustufen sind.

### **Aufbau des Leitfadens**

Der Leitfaden beabsichtigt eine Handreichung für die Ausschreibung und Integration von Bauwerksvisualisierungen in Bauprojekten darzustellen. Am Ende des Leitfadens wird das entwickelte LoV-Stufenkonzept zur Einordnung und Bewertung von Visualisierungen dargestellt. Dieses Konzept basiert auf der im Vorhinein erfolgten Forschungsarbeit des Projekts BIM-LoVE und ist durch eine systematische Erarbeitung aller relevanten Grundlagen entstanden. Entsprechend fasst dieser Leitfaden in seinem Verlauf zunächst die relevanten Ergebnisse der Forschungsarbeit zusammen, um auf diese Weise eine adäquate und praktikable Anwendung des LoV-Konzepts zu ermöglichen. Der inhaltliche Aufbau des Leitfadens ist in nachfolgender Abbildung 1 dargestellt und gliedert sich folgendermaßen:



Abbildung 41: Struktur des Leitfadens (eigene Darstellung)

Entsprechend des oben illustrierten Aufbaus beginnt nach der erfolgten Einleitung der Hauptteil des Leitfadens. Zunächst werden die Begrifflichkeit der Bauwerksvisualisierung und unter anderem folgende Fragen geklärt:

- Was ist eine Bauwerksvisualisierung?
- Warum werden Visualisierungen im Bauprozess eingesetzt?
- Welche Potentiale bieten Bauwerksvisualisierungen innerhalb des Bauprojekts?

Im Anschluss daran werden im zweiten Kapitel die identifizierten Visualisierungsarten erläutert und mit Beispielabbildungen untermalt. Dadurch soll das grundlegende Verständnis für die Möglichkeiten von Visualisierungen in Bauprojekten erzeugt werden, um anschließend zu einer Qualitätsbeschreibung von Bauwerksvisualisierungen überzugehen. Im Zentrum dieser Erläuterung stehen dann folgende Fragen:

- Wie wird Qualität innerhalb des beschriebenen Kontexts definiert?

- Wovon ist die Qualität von Bauwerksvisualisierungen abhängig?
- Durch welche Dimensionen und Kategorien kann die Qualität von Bauwerksvisualisierungen bestimmt werden?

Die konkrete Definition der Qualität von Bauwerksvisualisierungen bildet mitunter den entscheidenden Teil innerhalb der Erarbeitung des LoV-Konzepts. Das Festlegen von Kategorisierungen stellt die wesentliche Grundlage für die am Ende stehende Abstraktion des Stufenkonzepts dar und bedarf damit einer ausführlichen Erläuterung. Bevor im letzten Schritt das finale LoV-Konzept dargestellt wird, werden im sechsten Kapitel die Anwendungsmöglichkeiten für Bauwerksvisualisierungen konkretisiert. Aufgrund des zweckgebundenen Einsatzes von Bauwerksvisualisierungen sind die entsprechenden Anwendungsfälle zu definieren, und dienen als Basis dieser wissenschaftlichen Erarbeitung des LoV-Leitfadens. Diese stehen in Zusammenhang mit den standardisierten BIM-Anwendungsfällen (vgl. [bimdeutschland.de](http://bimdeutschland.de)) und stellen die als relevant identifizierten Anwendungsfälle heraus. Am Ende des Hauptteils wird nun das konkrete LoV-Konzept dargelegt, inklusive der Definition einer Bewertungsskala sowie einer damit zu verbindenden Gewichtungsmatrix, um die Anwendungsspezifikation ganzheitlich abbilden zu können.

Zum Abschluss gibt dieser Leitfaden noch eine Zusammenfassung zur zugrundeliegenden Untersuchung sowie eine Diskussion zu den Ergebnissen. Außerdem werden mögliche Ausblicke sowie zukünftiger Forschungsbedarf in diesem noch sehr jungen Forschungsthema dargelegt.

## Definition von Bauwerksvisualisierungen

### Was ist eine Bauwerksvisualisierung?

Um im Verlauf dieses Leitfadens definierende Kriterien für die Qualität einer Bauwerksvisualisierung zu definieren, ist grundlegend erst einmal die Begrifflichkeit der Bauwerksvisualisierung zu erläutern. Hierzu wurde innerhalb des Forschungsprojekts BIM-LoVE eine eingehende Literaturrecherche zu Definitionen von Visualisierungen durchgeführt. Durch die Analyse verschiedener Quellen konnte ein Überblick über verschiedene Erläuterungen von Visualisierungen als Hilfsmittel geschaffen werden. Im Anschluss wurde auf Basis der gesammelten Erkenntnisse eine eigenständige Definition für Bauwerksvisualisierungen abgeleitet:

*„Eine Bauwerksvisualisierung ist ein virtuelles oder physisches Bild einer Konstruktion oder eine visuelle Illustration alphanumerischer und/oder geometrischer Bauwerksinformationen auf der Grundlage eines Bauwerksmodells.“*

Gemäß obiger Definition können Bauwerksvisualisierungen in virtueller oder physischer Form vorliegen und stellen alphanumerische bzw. geometrische Informationen in visueller Form dar. Zudem schaffen Bauwerksmodelle die Grundlage zur Erstellung von Bauwerksvisualisierungen. So bieten Bauwerksvisualisierungen die Möglichkeit, eine Informations- und Kommunikationsgrundlage zu schaffen. Diese Fähigkeit soll im Folgenden näher beleuchtet werden, indem die Frage geklärt wird, aus welchem Grund Visualisierungen im Rahmen von Bauprojekten zur Anwendung kommen.

### Warum Visualisierungen im Bauprojekt?

Bauprojekte zeichnen sich durch einen zunehmenden Komplexitätsgrad aus. Zurückzuführen ist dies auf eine steigende Anzahl assoziierter Stakeholder, welche verschiedene Anforderungen an das Projekt bzw. Objekt stellen. Dabei gestaltet sich besonders die Kommunikation zwischen allen Beteiligten zunehmend komplex, was in der Konsequenz zu Herausforderungen in der Projektbewältigung führt. Bauwerksvisualisierungen bieten hier die Möglichkeit, Kommunikationsprobleme zu reduzieren, wodurch sie mittlerweile ein wesentlicher Bestandteil von Projekten sind.

Im Laufe des Bauprozesses müssen durch die Projektbeteiligten in jeder Leistungsphase die verschiedensten Entscheidungen getroffen werden. Um diese Entscheidungen fundiert treffen zu können, muss eine Kommunikations- und Diskussionsgrundlage geschaffen werden, damit die Beteiligten keine Informationsasymmetrien aufweisen. Diese Grundlage stellen Bauwerksvisualisierungen dar. Durch die Veranschaulichung verschiedener Aspekte des Projekts können sowohl das Verständnis gesteigert als auch in der Folge adäquate

Entscheidungen gefördert werden. Visualisierungen bieten die Vorteile, eine komplexe Menge an Informationen auf eine einfache Art und Weise zu vermitteln, da gleichzeitig das kognitive Verständnis verbessert wird, indem der Interpretationsaufwand für Informationen durch visuelle Übermittlung verringert wird.<sup>76</sup>

Der Digitalisierungstrend innerhalb der Baubranche begünstigt ebenfalls zunehmend die Erstellung und Nutzung von Visualisierungen. Durch die Entwicklung neuer technologischer Möglichkeiten entstehen gleichzeitig neue Arbeitsweisen. Eine zentrale Entwicklung stellt die BIM-Methode dar, welche eine kooperative Arbeitsmethodik bezeichnet. Durch die BIM-Methode werden relevante Daten von Bauwerken entlang ihres Lebenszyklus erfasst und mit einem zugrundeliegenden digitalen Modell des entsprechenden Bauwerks verknüpft. Diese Methodik wird auch innerhalb des Stufenplans Digitales Planen und Bauen des BMDV aufgegriffen und kommt in immer mehr Bauprojekten zur Anwendung.<sup>77</sup> Im Rahmen der Anwendung der BIM-Methode werden im Laufe von Bauprojekten digitale Zwillinge erstellt. Gleichzeitig basieren auch Bauwerksvisualisierungen meistens auf 3D-Modellen und werden aus diesen generiert. Hierdurch entsteht eine Wechselwirkung zwischen der Anwendung der BIM-Methodik und der Nutzung von Bauwerksvisualisierungen, da dieselben digitalen Modelle sowohl für die BIM-Methodik als auch für Visualisierungen zugrunde gelegt werden können.

### **Potenziale der Visualisierung**

Als Informations- und Diskussionsgrundlage bieten Visualisierungen das Potenzial, die Entscheidungsfindung zu erleichtern sowie eine Steigerung der Transparenz und Akzeptanz innerhalb der Öffentlichkeitsbeteiligung zu fördern. Zusätzlich gibt es durch neue Möglichkeiten wie Virtual und Augmented Reality heutzutage auch das Potenzial, betreffende Bauvorhaben realer erlebbar zu machen.<sup>78</sup> Nach *Spieker, Wenzel & Brettschneider* beantworten Visualisierungen im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung diverse Fragestellungen. Diese kategorisieren sich wie folgt <sup>79</sup>:

- Fragen der Ästhetik
- Abschätzung visueller Auswirkungen auf das Landschaftsbild
- Abschätzung visueller Auswirkungen auf Umgebungsbebauung
- Simulation der Leistungsfähigkeit neuer Infrastrukturen
- Nutzerorientierte Planung von Gebäuden

---

<sup>76</sup> Taylor / Francis (2022).

<sup>77</sup> BMDV, S. 5.

<sup>78</sup> BMDV.

<sup>79</sup> Brettschneider / Spieker (2017).

Dadurch können Visualisierungen einen Mehrwert für Bürger in der Informationsvermittlung, der Konsultation oder der Mitgestaltung bieten. Auf diese Weise werden sachliche, konstruktive Diskussionen sowie die Akzeptanz gefördert.<sup>80</sup>

In der Praxis werden Visualisierungen zudem häufig im Zusammenhang mit Marketingaspekten verwendet. Durch die ansprechende Visualisierung von Bauvorhaben werden sie zielführend zu Werbezwecken eingesetzt.<sup>81</sup>

Um die Mehrwerte abschließend nochmals zu konkretisieren und zu validieren, wurden im Rahmen einer Expertenumfrage die folgenden allgemeinen Mehrwerte identifiziert (vgl. Abbildung 42):

- Effizienz in der Kommunikation
- Einbindung / Akzeptanz des Nutzers
- Vereinfachung der Entscheidungsprozesse
- Realitätsnahe Darstellung
- Besseres Verständnis

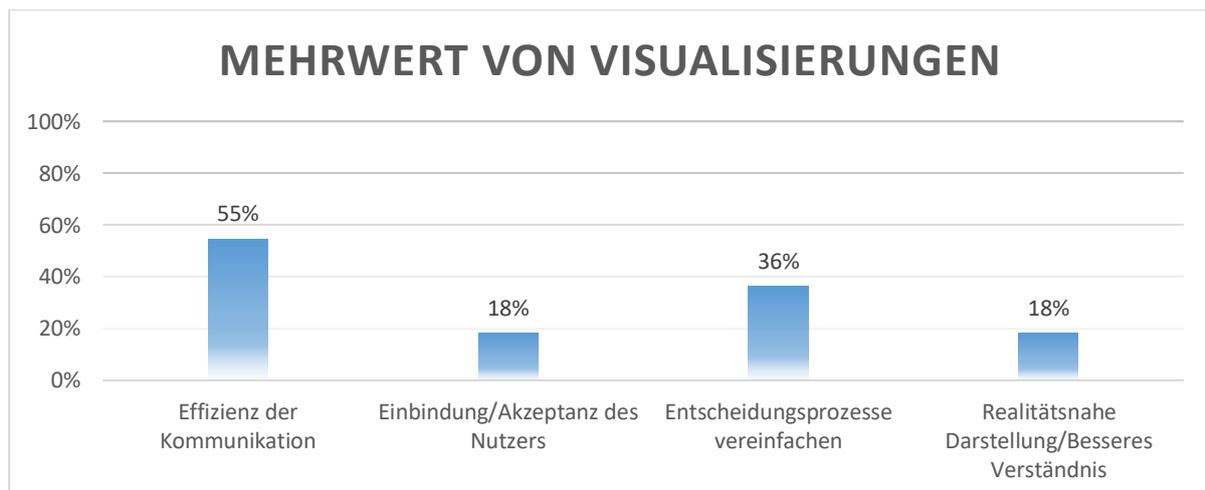


Abbildung 42: Umfrageergebnisse - Mehrwert von Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung)

Damit zeigen sich die Potenziale, die Visualisierungen bei zweckmäßigem Einsatz bieten können, und sie unterstreichen den Einfluss, den sie innerhalb von Bauprojekten haben.

### Verschiedene Untersuchungen / Initiativen zum Thema

<sup>80</sup> Brettschneider / Spieker (2017).

<sup>81</sup> Brettschneider / Spieker (2017).

Der vorteilbringende Einsatz von Visualisierungen in Bauprojekten wird in der Literatur in verschiedenen Quellen adressiert. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden umfangreiche Literaturanalysen durchgeführt. Nachfolgend wird ein Ausschnitt der Ergebnisse präsentiert.

*Han et al.* beschreiben in ihrer Publikation „Automated post-simulation visualization of modular building production assembly line“ ein Missverständnisproblem. Dabei werden im Rahmen der Produktion von Modulbauten Computersimulationen durchgeführt, welche numerische Ergebnisse hervorbringen. Dies führt zu dem Problem, dass Beteiligte ohne umfassendes Know-how die Ergebnisse nicht vollständig nachvollziehen können. Außerdem gestaltet sich eine Fehleranalyse innerhalb der Simulation schwierig, da sich die numerische Ausgabe sehr komplex darstellt. Abhilfe soll hier die Kombination der numerischen Simulation mit Visualisierungen schaffen, sodass die komplexen Informationen visuell heruntergebrochen werden.<sup>82</sup> Dies unterstreicht durch ein weiteres Anwendungs-beispiel die Potenziale von Visualisierungen, welche ein sehr effektives Mittel zur Informationsübermittlung darstellen und komplexe Sachverhalte auf eine leicht verständliche Weise vereinfachen können.

*Wolf, Söbke & Wehking* sprechen in ihrem Artikel „Mixed Reality Media-Enabled Public Participation in Urban Planning“ ein Paradox im Rahmen der Bürgerbeteiligung in Stadtplanungsprojekten an. Dabei besteht in frühen Planungsphasen noch viel Spielraum für Umplanungen, während in späten Phasen Änderungen an der Planung nur noch mit hohem Aufwand umsetzbar sind. Paradoxerweise ist jedoch in frühen Planungsphasen nur eine sehr geringe Beteiligung durch Bürger zu verzeichnen, welche erst in späten Phasen zunimmt. Die Autoren führen dies auf die starke Abstraktion zurück, welche in frühen Phasen noch besteht, und die dadurch mangelhafte Klarheit über das Projekt innerhalb der Öffentlichkeit. Um die Partizipation von den späten in die frühen Planungsphasen zu verlagern, behandeln *Wolf, Söbke & Wehking* den Einsatz von Mixed Reality. Durch die Visualisierung des Projekts per Mixed Reality soll bereits in frühen Phasen eine verständliche Informationsdarlegung erreicht werden, um die Akzeptanz zu fördern und etwaige Änderungen frühzeitig einzubeziehen.<sup>83</sup> Das in diesem Beitrag angesprochene Problem untermauert das Problem mangelnder Transparenz und Klarheit in öffentlichen Bauprojekten und stellt Visualisierungen als eine Lösungsmöglichkeit dar.

Der Artikel „Advanced visualization and simulation techniques for modern construction management“ von *Rohani* stellt nun vor bereits 10 Jahren, im Jahr 2014, die Wichtigkeit von Visualisierungen im Management von Bauprojekten dar. Dabei wird auf neuere Visualisierungstechniken wie Echtzeitsimulation (4D-Simulation), VR sowie AR eingegangen.

---

<sup>82</sup> Han et al. (2012), S. 236.

<sup>83</sup> Jung et al. (2020), S. 125.

---

Bauprojekte benötigen demgemäß Visualisierungen, um den Verlauf eines Bauprozesses schon in der Planungsphase visuell simulieren zu können. Auf diese Weise können die Effizienz gesteigert und die Zeit sowie die Kosten eines Bauprojekts signifikant reduziert werden. Auch hier zeigt sich erneut der Einfluss von Visualisierungen als Hilfsmittel in der Abwicklung von Bauprojekten.<sup>84</sup>

Festzuhalten sei somit, dass Bauwerksvisualisierungen zielführend bei der erfolgreichen Umsetzung von Bauprojekten unterstützen können und vielseitig einsetzbar sind. Nicht nur können Missverständnisse reduziert und der Informationsfluss gefördert werden, sondern auch die generelle Effizienz von Bauprojekten gesteigert sowie Zeit- und Kostenaufwand gesenkt werden.

---

<sup>84</sup> Rohani et al. (2014), S. 667–674.

## Gängige Visualisierungsarten im Bauwesen

Während des Bauprozesses werden in jeder Planungsphase verschiedene Entscheidungen zum Projekt getroffen. Um diese Entscheidungen zu fällen, müssen die Beteiligten sich auf Grundlage eines identischen Abbildes des Planungsprozesses verständigen können. Oftmals fehlt die Kommunikations- und Diskussionsgrundlage, da die Projektbeteiligten über unterschiedliche Informationen verfügen. Bauwerksvisualisierungen ermöglichen es, verschiedene Aspekte des Projekts zu veranschaulichen und steigern das Verständnis zwischen Beteiligten, um eine adäquate Entscheidung treffen zu können.

Die Wichtigkeit einer einheitlichen Sprache und Verständnis bei steigenden Projektanforderungen und Herausforderungen verdeutlichen die Bedeutung, qualitative Visualisierungen als Kommunikationswerkzeug einzusetzen. Die etablierte BIM-Methode liefert eine solide Grundlage, um qualitative und anwendungsorientierte Visualisierungen für Projekte zu erstellen. Es ist unabdingbar, dass Visualisierungen in der Steigerung der Effektivität und Produktivität bei Bauprojekten eine zentrale Rolle übernehmen werden.

Bei der Analyse und Recherche ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass der Wert einer Bauwerksvisualisierung immer vom Kontext und der Art der verwendeten Visualisierung abhängt. Daher ist es unerlässlich, die relevanten Visualisierungsarten zu identifizieren. Man kann für die Visualisierungen eine Trennung zwischen analogen und digital erzeugten Arten erkennen. Im Prozess des architektonischen Entwerfens ist die Handskizze neben dem Architekturmodell eine der klassischsten Varianten an analogen Visualisierungsarten. Durch die Digitalisierung und die Verfügbarkeit von unzähligen Softwaretools erweitern sich auch die modernen Möglichkeiten von digitalisierten Visualisierungen. Folgende digitale Visualisierungsarten wurden im Rahmen des Forschungsprojekts identifiziert:

- Architekturmodelle
- 3D-Druck
- Handskizze
- Virtual Reality (VR)
- Augmented Reality (AR)
- 3D-Echtzeitsimulation
- Arbeits- und Koordinationsmodelle
- Renderings
- Fotomontagen
- Animationsfilme
- Bauablaufsimulation

- 3D-Druck

Die aufgelisteten Visualisierungsarten sind das finale Ergebnis aus Literaturrecherche, Potentialanalyse und zahlreichen Validierungen mit den Projektpartnern. Einige Visualisierungsarten wurden daher im Laufe des Forschungsprojekts angepasst oder zusammengefasst. Im Folgenden werden die finalen Visualisierungsarten dezidiert beschrieben.

### Architekturmodelle

Ein Architekturmodell wird als plastisches Modell eines Bauwerks in verkleinertem Maßstab zur Veranschaulichung eines geplanten Baus definiert. *Herbert Stachowiak* erläutert in seinem Buch, dass Modelle drei wesentliche Merkmale besitzen: das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal.<sup>85</sup> (Vgl. Abbildung 3)



Abbildung 43: Beispiel eines Architekturmodells (eigene Darstellung)

---

<sup>85</sup> Stachowiak (1973), S. 131–132.

### 3D-Druck

3D-Druck ist ein Fertigungsverfahren zur schnellen und – im Verhältnis zu vielen anderen Verfahren – preisgünstigen Herstellung von Modellen, Mustern, Prototypen, Werkzeugen und Endprodukten. Grundlage für den Druck sind 3D-CAD-Modelle. 3D-Druck wird als *generatives Fertigungsverfahren* bezeichnet. Das bedeutet, dass die Fertigung direkt auf der Basis der rechnerinternen Datenmodelle erfolgt. Oft ist auch von *Rapid Prototyping* oder *Additive Manufacturing* die Rede, wenn es um 3D-Druck geht.<sup>86</sup> Der 3D-Druck bietet eine Alternative zum Architekturmodell und lässt ebenfalls eine Eingliederung in diesem Kontext zu. Übersichtlichkeitshalber findet allerdings eine separate Aufzählung an dieser Stelle statt.

Es gibt verschiedene Verfahren zum 3D-Druck. Alle teilen die Gemeinsamkeit, dass der Druckvorgang in Schichten aufgebaut ist.<sup>87</sup> Zu den gängigen 3D-Druckverfahren zählen<sup>88</sup> :

- 3D-Druck mit Pulver (3DP)
- Selektives Lasersintern (SLS)
- Selektives Heat Sintering (SHS)
- Selektives Laserschmelzen (SLM)
- Elektronenstrahlschmelzen (EBM – Electron Beam Melting)
- Fused Deposition Modeling (FDM) / Fused Filament Fabrication (FFF)
- Stick Deposition Molding (SDM)
- Multi-Jet Modeling (MJM)
- Stereolithografie (STL / SLA)
- Scan-LED-Verfahren (SLT)
- Film Transfer Imaging (FTI)
- Digital Light Processing (DLP)
- PolyJet
- Laminated Object Modeling (LOM)
- Selective Deposition Lamination (SDL)
- Contour Crafting (CC)

---

<sup>86</sup> Fastermann (2014), S. 11.

<sup>87</sup> Fastermann (2014), S. 17.

<sup>88</sup> Fastermann (2014), S. 25–44.

Für die Erstellung der Bauwerksvisualisierung im Rahmen des Forschungsprojekts wurden FDM- und SLT-Verfahren eingesetzt. (Vgl. Abbildung 4)

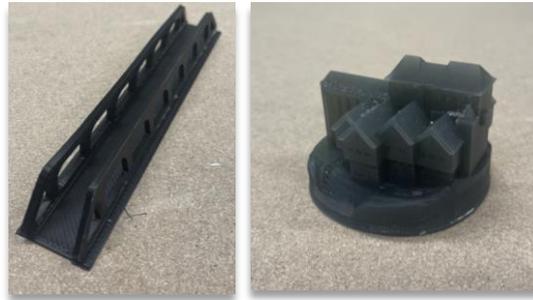


Abbildung 44: Beispielmodelle des 3D-Druckverfahrens (eigene Darstellung)

### Handskizze

Eine Skizze ist im Allgemeinen eine Zeichnung, die sich auf das Wesentliche beschränkt. In der Architektur wird sie dazu genutzt, Ideen und Vorstellungen hervorzubringen. (Vgl.



Abbildung 45: Beispiel einer Handskizze (eigene Darstellung)

Abbildung 5)

Eine Handskizze oder auch herkömmlich Handzeichnung genannt, könnte als Art des zeichnerischen Benennens beschrieben werden, welche ein technisches Hilfsmittel darstellt, um Ideen auszudrücken.<sup>89</sup> (Vgl. Abbildung 6 und 7)

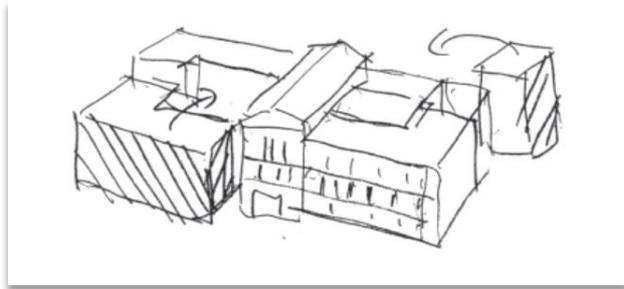


Abbildung 6: Neues Museum, Museumsinsel Berlin

(eigene Darstellung)

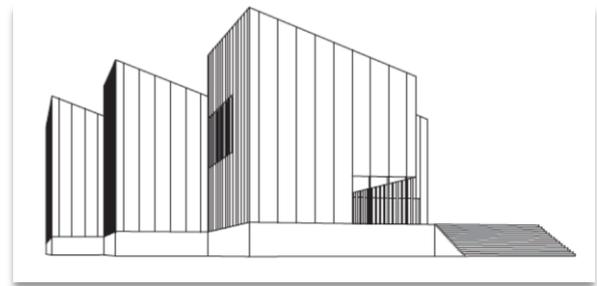


Abbildung 7: Turner Contemporary, Margate, England

(eigene Darstellung)

## Virtual Reality

Virtuelle Realität (VR) ist eine interaktive, computergenerierte Umgebung, die die reale Umgebung vollständig überlagert.<sup>90</sup> Das Eintauchen in die virtuelle Umgebung wird als Immersion bezeichnet, wobei eine Technologie mit steigender Überlagerung der Realität immersiver wird. Um VR und das stereoskopische Sehen (Wahrnehmung von räumlicher Tiefe) nutzen zu können, werden spezielle Ein- und Ausgabegeräte benötigt, die eine freie Navigation in Echtzeit ermöglichen. Ausgabemedien für VR sind meist sogenannte 3D-Powerwalls, Caves oder Head Mounted Displays.<sup>91</sup> (Vgl. Abbildung 46)

---

<sup>89</sup> Busch (2004), S. 1.

<sup>90</sup> Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2021).

<sup>91</sup> Brettschneider / Spieker (2017).



Abbildung 46: Beispiel Virtual Reality (eigene Darstellung)

Bei der Nutzung von VR kann in der Baubranche zwischen verschiedenen Anwendungsbereichen unterschieden werden. Häufig genutzt wird VR zur Kommunikation gegenüber Kunden oder der Öffentlichkeit, da das geplante Vorhaben auf diese Weise deutlich anschaulicher dargestellt werden kann als durch herkömmliche Pläne und CAD-Zeichnungen. Kunden können immersiv in das geplante Gebäude eintauchen und die gewünschten Räume oder Konstruktionen untersuchen.<sup>92</sup> Im Bereich der Bürgerbeteiligung wird VR eingesetzt, um Veränderungen des Stadt- oder Landschaftsraums und dessen visuelle Auswirkungen auf die Umgebung darzustellen. Nutzer von öffentlichen Bauprojekten können so am Entscheidungsprozess der Planung adäquat teilnehmen.<sup>93</sup>

Durch VR wird im Allgemeinen ein besseres Verständnis für die räumlichen Zusammenhänge der einzelnen Objekte und deren Design vermittelt, wodurch Entscheidungsprozesse auch unter den Stakeholdern verbessert werden. Daraus ergibt sich zusätzlich zur Kollisionsprüfung im BIM-Modell eine weitere Kontrollstufe.<sup>94</sup>

Während der Bauausführung können mittels immersiver Simulationen potenzielle Probleme im Bauablauf identifiziert und die Logistikplanung verbessert werden, sodass Zeitverzögerungen und Kostenerhöhungen während der Ausführungsphase reduziert werden. Abweichungen vom Zeitplan werden frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet.<sup>95</sup>

<sup>92</sup> Davila Delgado et al. (2020), S. 3.

<sup>93</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 19–20.

<sup>94</sup> Davila Delgado et al. (2020), S. 5.

<sup>95</sup> Davila Delgado et al. (2020), S. 5.

## Augmented Reality

Augmented Reality (AR) ergänzt zu der realen Umgebung einzelne virtuelle Elemente in Echtzeit.<sup>96</sup> Im Bereich AR wird zwischen den Arten „Video-see-through“ und „Optical-see-through“ unterschieden. „Video-see-through“ bedeutet, dass die Umgebung durch eine Kamera (z. B. Smartphone) erfasst und so ein Bild der realen Umgebung, ergänzt mit virtuellen Elementen, über ein Display ausgegeben wird. Beim sogenannten „Optischen-see-through“ hingegen werden Spezialbrillen benötigt, durch die der Nutzer die Umgebung begutachten kann, während gleichzeitig virtuelle Inhalte direkt auf den Brillengläsern eingeblendet werden.<sup>97</sup> (Vgl. Abbildung 47)

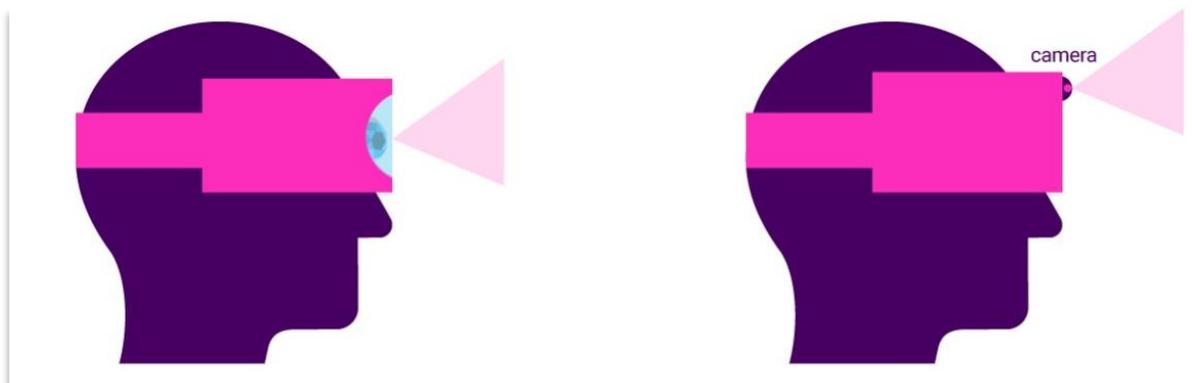


Abbildung 47: Vergleich Video-see-through und Optical-see-through<sup>98</sup>

AR bietet neben der Möglichkeit geometrische und semantische Informationen in der Realität zu vernetzen, die Chance, Konstruktionen und Bauteile über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zu optimieren. So hilft AR beispielsweise bei der Koordination zwischen Betonierarbeiten und Gebäudetechnik.<sup>99</sup> Bei der Baudokumentation und bei der Abnahme können mittels AR, Informationen aus dem BIM-Modell, bezogen auf ein ausgewähltes Bauteil, abgeleitet und zur Erkennung einer



<sup>96</sup> Ma et al. (2023), S. 5.

<sup>97</sup> Ma et al. (2023), S. 7.

<sup>98</sup> Recro | Blog (2019).

<sup>99</sup> Schranz et al. (2020), S. 380.

korrekten Bauausführung auf einem Smartphone oder Tablet ausgegeben werden.<sup>100</sup> Darüber hinaus können Tragwerksmodelle oder Planungsmodelle mit dem As-built-Modell abgeglichen werden. Auch in der Betriebsphase von Gebäuden, insbesondere für Wartungsarbeiten im Facility Management, kann AR zum Einsatz kommen.<sup>101</sup> (Vgl. Abbildung 48)

Abbildung 48: Beispiel Augmented Reality (eigene Darstellung)

### 3D-Echtzeitsimulation

Echtzeitsimulationen bieten die Möglichkeit, ein Bauwerk räumlich zu erleben, indem eine 3D-Umgebung aus den Informationen des BIM-Modells erstellt wird. Noch vor der eigentlichen Bauausführung können so Abläufe und Strukturen dynamisch und mehrfach simuliert werden, um eine ideale Entscheidungsfindung bezüglich geplanter Prozesse zu generieren. Echtzeitsimulationen ermöglichen eine individuelle Navigation, wobei die dreidimensionalen Geometrien des Bauwerks aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden können.<sup>102</sup> Die Qualität von Echtzeitvisualisierungen ist dabei von der Latenzzeit des Systems und von der Bildwiederholungsrate abhängig.<sup>103</sup>

3D-Echtzeitsimulationen hingegen erzeugen einen verständlichen Rundgang durch das noch nicht gebaute Gebäude am Computerbildschirm. Echtzeitsimulationen können sowohl an affine als auch an nicht bauaffine Stakeholder adressiert werden. Sie dienen dementsprechend auch zu Präsentations- und Marketingzwecken.<sup>104</sup> Durch das frühzeitige Erkennen von notwendigen Design- oder Konstruktionsänderungen sowie durch die Reduktion von Bauzeitverzögerungen durch die Bausequenzierung ergeben sich große Kosteneinsparpotentiale.

### Arbeits- und Koordinationsmodelle

Die verschiedenen Arbeits- und Koordinationsmodelle beinhalten einzelne Modellelemente mit geometrischen, materiellen und funktionalen Eigenschaften, die darüber hinaus mit zeitlichen Abläufen und Kosten verknüpft sein können. Zweck der Fachmodelle ist die Planung und Dokumentation der Erstellung und des Betriebs des Bauwerks. Für die Modelle gilt: Je höher der Detaillierungsgrad ist, desto zuverlässiger sind die darin enthaltenen Informationen. Auf Basis des Koordinationsmodells können Abstimmungen, Konfliktprüfungen sowie Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt werden.<sup>105</sup> Arbeits- und Koordinationsmodelle sind eng mit der BIM-Methode verknüpft und hängen von den jeweiligen Software-Programmen ab.

Arbeits- und Koordinationsmodelle können zur Koordination der Gewerke und zur Fehlervermeidung einiger Modellprüfungen durchgeführt werden. Beispiele dafür wären eine allgemeine

---

<sup>100</sup> Schranz et al. (2020), S. 380–381.

<sup>101</sup> Schranz et al. (2020), S. 383.

<sup>102</sup> Schildwächter / Zeile (2008), S. 1.

<sup>103</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 18.

<sup>104</sup> Schildwächter / Zeile (2008), S. 6.

<sup>105</sup> Borrmann et al. (2021), S. 6–14.

Plausibilitätsprüfung, eine Qualitätsprüfung, eine inhaltliche Prüfung, eine Mengenkonsistenzprüfung sowie eine 3D-Kollisionsprüfung.<sup>106</sup>

Insgesamt können Arbeits- und Koordinationsmodelle einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass die Planungsqualität aufgrund der verbesserten Kommunikation und durch die automatisierte Prüfung der Planung steigt. Modellableitungen führen zudem zu einer

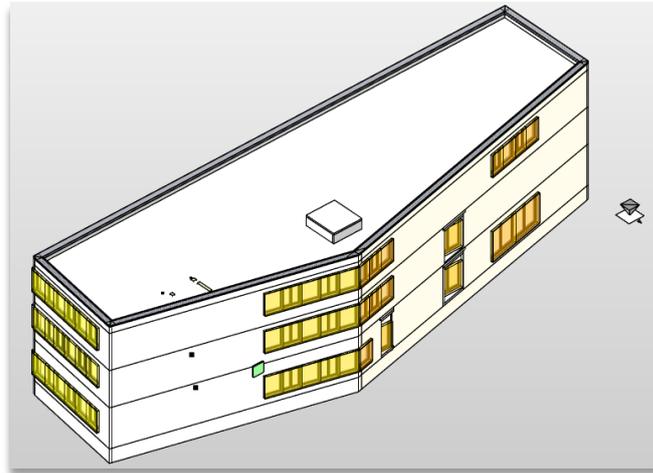


Abbildung 49: Bürogebäude (eigene Darstellung)

Erhöhung der Kosten- und Terminalsicherheit. Auszüge aus den Modellen können auch für Präsentationen genutzt werden. (Vgl. Abbildung 9)

## Renderings

Renderings werden im Bauwesen als statische Darstellung verstanden, die einer Fotografie ähneln. Als Synonym für den Begriff Rendern kann der Terminus „Bildsynthese“ verwendet werden. Er bezeichnet die Erstellung einer Visualisierung aus vorhandenen digitalen Daten wie zum Beispiel CAD-Zeichnungen oder BIM-Modellen im Bereich der Computergrafik.<sup>107</sup> Die Darstellungsmöglichkeiten sind vielfältig und reichen von fotorealistischen Grafiken bis hin zu Sketch-Renderings, die mehr einer Handskizze gleichen.<sup>108</sup> Für ein Rendering muss ein fester Blickpunkt ausgewählt werden, damit berechnet werden kann, welche Elemente von diesem Standpunkt aus sichtbar sind und wie Lichtverteilung und Oberflächen der betrachteten Szene aussehen.<sup>109</sup>

---

<sup>106</sup> Borrmann et al. (2021), S. 695.

<sup>107</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 17.

<sup>108</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 31.

<sup>109</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 17.

Mithilfe von Renderings können bewusst bestimmte Stimmungen und Atmosphären erzeugt werden. Dies sorgt dafür, dass Renderings für Präsentationen insbesondere in der Entwurfs- und Planungsphase eines Gebäudes eingesetzt werden. Renderings erlauben es, mit wenigen Klicks Oberflächen, Texturen oder die Beleuchtungssituationen zu verändern und Störelemente zu identifizieren. Es können Varianten erstellt und verglichen werden, ohne dass ein hoher Zeitaufwand entsteht. Renderings bewegen sich dabei an der Grenze zwischen Realität und Virtualität, da sie versuchen, die Virtualität so realistisch wie möglich darzustellen. (Vgl. Abbildung 50)

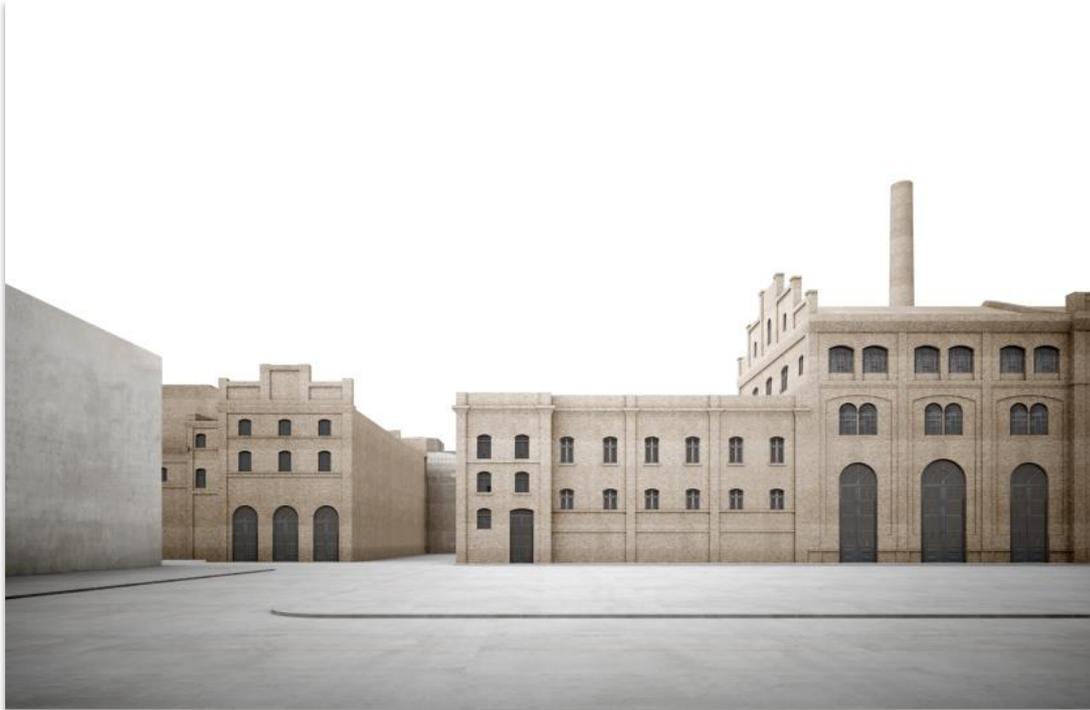


Abbildung 50: Rendering - Bötzw Brauerei, Berlin, Deutschland — Texturiertes Rendering als 'Modellfoto' (eigene Darstellung)

Die Vorteile von Renderings liegen aufgrund ihrer weiten Verbreitung in der Praxis besonders in den weit entwickelten Softwarelösungen und Schnittstellen, auf deren Basis mit wenig Aufwand aus vorhandenen Daten des BIM-Modells Visualisierungen des Bauwerks erstellt werden. In der Öffentlichkeitsarbeit sind Renderings beliebt, da sie als Bilddateien für nicht



Abbildung 51: Rendering - Musée des Beaux-Arts, Reims, Frankreich — Umgebungsfoto mit eingesetztem Rendering (eigene Darstellung)

affine Nutzer und Personen einfach zugänglich sind.<sup>110</sup> Renderings können Entscheidungen im Bauprozess ggf. stark beeinflussen. Idealisierte Ausschnitte, die nicht exakt der Realität entsprechen, veränderte Lichtverhältnisse oder vereinfachte Umgebungsmodelle können den Betrachter emotionalisieren und subjektive Empfindungen auslösen. (Vgl. Abbildung 11)

### Fotomontage

Die Fotomontage ähnelt als statische Visualisierungsart dem Rendering, allerdings basiert die Fotomontage auf vorhandenen Fotografien. Diese werden mit digitalen Objekten zusammengefügt und kreieren dadurch eine neue Bildkomposition. Fotomontagen sind mit Fotocollagen vergleichbar. Im Zentrum von Fotomontagen steht die Schaffung von expliziten Atmosphären und Stimmungen, die nicht automatisch den Anspruch haben, der Realität zu entsprechen.<sup>111</sup>

Auch Fotomontagen werden häufig im Entwurfsprozess eingesetzt. Der Fokus liegt bei Fotomontagen selten auf einem Fotorealismus oder einer hohen Detaillierung. Durch die einfache und kostengünstige Herstellung eignet sich eine Fotomontage als Präsentations- und Kommunikationsmittel gegenüber Kunden und Öffentlichkeit.<sup>112</sup> (Vgl. Abbildung 12)



Abbildung 52: Fotomontage - Spreedreieck, Berlin, Deutschland — Collage aus Umgebungs- und Modellfoto (eigene Darstellung)

<sup>110</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 43.

<sup>111</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 31.

<sup>112</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 32.

## Animationsfilme

Bei Animationsfilmen handelt es sich um eine dynamische, nicht interaktive Visualisierungsart, bei der Bewegtbilder aus dem dreidimensionalen digitalen Bauwerksmodell erstellt werden. Durch eine Verschiebung des Ortes bzw. durch eine Bewegung des Objektes entsteht eine Dynamik, die als Bewegtbildproduktion wahrgenommen wird.<sup>113</sup> Animationsfilme bestehen aus einer sehr schnellen Abfolge von einer hohen Anzahl an Einzelbildern, wobei auch musikalische Effekte oder andere Geräusche integriert werden können. Sie werden häufig für die virtuelle Darstellung von Gebäuden und Umgebungen verwendet. Dabei wird zwischen einem sogenannten Walk-through, also einem Rundgang durch das Gebäude aus der Ich-Perspektive, und einem Fly-through, bei dem die Kamera aus verschiedenen Perspektiven an das Gebäude heranschwebt, unterschieden.<sup>114</sup>

Ähnlich wie auch die Renderings dienen Animationsfilme in vielen Fällen der Kommunikation gegenüber Kunden, Investoren oder der Öffentlichkeit. So können Kunden über einen festgelegten Pfad das Gebäude erkunden, wodurch auch Fragen bezüglich der Funktion und Nutzung des Gebäudes untersucht werden können.<sup>115</sup>

Der Vorteil von Animationsfilmen liegt darin, dass sie ebenso wie Renderings mit gängiger Software mit geringem Aufwand auf Basis vorhandener Daten erstellt werden können. Zusätzlich handelt es sich um eine dynamische Visualisierung, die verschiedene Blickpunkte und Perspektiven berücksichtigen kann und gleichzeitig sehr detailliert und realistisch in der Darstellung ist.<sup>116</sup>

## Bauablaufsimulation

Die Bauablaufsimulation oder 4D-Bauablaufsimulation (im Englischen oft als Construction Sequencing bezeichnet) beschreibt die Simulation und animierte 3D-Visualisierung des geplanten Bauablaufs. Dabei werden die Elemente eines 3D-Modells der Terminplanung im Projekt zugeordnet, um die Abläufe in Planung und Bauphase abzubilden, zu kontrollieren und effektiv zu steuern.<sup>117</sup> (Vgl. Abbildung 53)

---

<sup>113</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 17.

<sup>114</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 59.

<sup>115</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 44.

<sup>116</sup> Brettschneider / Spieker (2017), S. 44.

<sup>117</sup> BauNetz 2023.

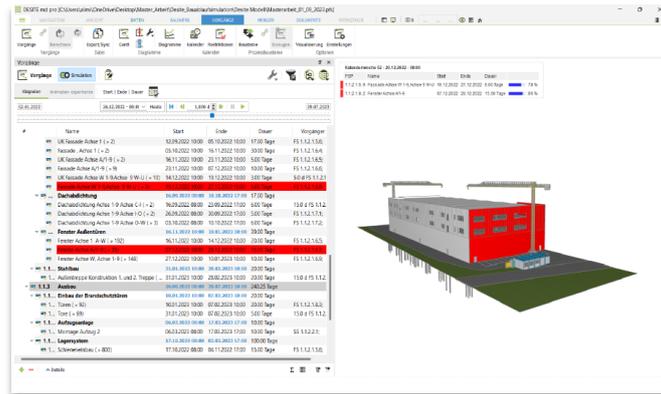


Abbildung 53: Beispiel einer Bauablaufsimulation (eigene Darstellung)

Alle für die Forschungsarbeit relevanten Definitionen zu Bauwerksvisualisierungen, den Visualisierungsarten sowie relevante Begrifflichkeiten befinden sich im angehängten **BIM-LoVE Glossar (siehe ANHANG 1: BIM-LoVE-Glossar)**.

Da der Fokus des Forschungsprojekts viel mehr auf den digitalen Bauwerksvisualisierungen (auf Grundlagen eines 3D-Modells) lag, und einige Bauwerksvisualisierungen ähnliche Anforderungen dargestellt haben, wurden folgende Bauwerksvisualisierungen für die weitere Arbeit berücksichtigt:

- 3D-Druck
- Renderings
- Animationsfilm
- Bauablaufsimulation
- Virtual Reality
- Augmented Reality

## Qualitätsbeschreibung der Bauwerksvisualisierungen

Im Folgenden Kapitel werden die aufgeführten Fragen behandelt:

- Wie wird Qualität innerhalb des beschriebenen Kontexts definiert?
- Wovon ist die Qualität von Bauwerksvisualisierungen abhängig?
- Durch welche Dimensionen und Kategorien kann die Qualität von Bauwerksvisualisierungen bestimmt werden?

Bauwerksvisualisierungen haben, neben ihrer Funktion als Kommunikationsmittel die Aufgabe, bestimmte Informationen vereinfacht darzustellen, damit eine Entscheidung auf Grundlage der Darstellung gefällt wird. Die Funktion der Darstellung kann mit Kunstwerken assoziiert werden. Gemälde, Fotografien, Musikstücke sind Kunstwerke, die Ähnlichkeiten in ihrer Darstellungsfunktion mit Visualisierungen teilen. Aus diesem Grund dienen Qualitätsmerkmale aus der Kunst als Referenz für die Qualitätsdefinition von Bauwerksvisualisierungen. Somit lassen sich vorläufige Qualitätskriterien in drei Ebenen wie folgt ableiten und unterteilen. (Vgl. Tabelle 1)

Tabelle 17: Anordnung der Qualitätskriterien in verschiedenen Ebenen (eigene Darstellung)

1. Ebene: Dimension	2. Ebene: Kategorien	3. Ebene: Unterkategorien
Medium	Kompatibilität	
	Auflösung	
	Benutzerfreundlichkeit	
Form	geometrisch / alphanumerisch	
	digital / analog	
	immersiv / nicht immersiv	
Darstellung	Art der Darstellung	Darstellungsform (statisch/dynamisch/interaktiv)
	Realitätsgrad	Formgebung
		Farb- und Materialwahl
		Kontextualisierung
		realitätsnahe Beleuchtungssituation
	Atmosphäre	Szene
		Nutzung Schatten/Licht
		Komposition

	Sichtweise	intuitive Orientierung
		Repräsentativität
Detaillierung	Detailierungsgrad	

Die Qualität der Bauwerksvisualisierungen ist vom Betrachter (Adressat) abhängig. Es fließt also eine gewisse Subjektivität in die Betrachtung von Bauwerksvisualisierungen mit ein, die sich teilweise nicht eliminieren lässt. Diese Subjektivität lässt sich auf die aufgestellten Qualitätskriterien übertragen, sodass eine Differenzierung zwischen objektiven und subjektiven Qualitätskriterien notwendig ist. Außerdem wird aus den Kriterien ermittelt, welche Dimension und Kategorien zu einer tatsächlichen Bewertung von Bauwerksvisualisierungen beitragen.

Durch einen intensiven Austausch mit Fachexperten im Rahmen des diesem Leitfadens zugrunde liegenden Forschungsprojekts wurden die Merkmale auf Praxistauglichkeit untersucht. Somit wurde sichergestellt, dass lediglich die relevanten Merkmale aus der Perspektive der Praxis Berücksichtigung finden. Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen:

Die Dimension „**Form**“, die sich überwiegend mit der Art und Weise, wie die Visualisierung des Bauwerks konzipiert und präsentiert wird, befasst, hat keinen Einfluss auf die Qualität einer Bauwerksvisualisierung. Grund für diese Aussage der Experten war die Betonung, dass die Qualität durch den Nutzen einer Bauwerksvisualisierung definiert ist. Insofern könnte ein 3D-Rendering nach Anwendungsfall / Situation qualitativ hochwertiger als eine VR sein. Diese Dimension wurde dann als „**beschreibendes**“ Qualitätskriterium kategorisiert.

Ein weiteres beschreibendes Qualitätskriterium ist die „Art der Darstellung“ unter der Dimension „Darstellung“. Dabei werden die Zeitabhängigkeit und Beweglichkeit einer Bauwerksvisualisierung ausgedrückt. (Vgl. Abbildung 54)

Beschreibende Qualitätskriterien		
Dimensionen	Kategorisierung	
Form	Digital	Analog
	Immersiv	Nicht Immersiv
	Geometrisch	Alphanumerisch
Darstellung	Art der Darstellung	Statisch
		Dynamisch
	Darstellungsform	Interaktiv

Abbildung 54: Beschreibende Kriterien (eigene Darstellung)

Eine weitere Erkenntnis war, dass manche Qualitätsmerkmale eher eine Voraussetzung für die qualitative Bewertung einer Bauwerksvisualisierung darstellen. Dies ist der Fall für die Kriterien „**Konsistenz**“ und „**Maßstäblichkeit**“. (Vgl. Abbildung 55)

Bauwerksvisualisierungen müssen kohärent und widerspruchsfrei sein, sowohl untereinander als auch mit anderen Datenquellen. Konsistenz und Maßstäblichkeit sind entscheidend für ihre Bewertung als zuverlässige Informations- und Kommunikationsgrundlage für Entscheidungsprozesse.

Weitere Voraussetzung / Ausschlusskriterien	
Konsistenz	Visualisierungen müssen im Rahmen der Konsistenz widerspruchsfrei zu anderen Datenquellen sein. Dies gilt aber auch z.B. für Objekte, die in unterschiedlichen Detailstufen repräsentiert werden. Die unterschiedlichen Detailstufen müssen auch untereinander konsistent bleiben.
Maßstäblichkeit	Die Nutzung eines einheitlichen Maßstabs innerhalb einer Visualisierung muss generell gegeben und vorausgesetzt sein, um die Maßstäblichkeit zu gewährleisten. Dies ist auch vor dem Hintergrund der Konsistenz zu betrachten.

Abbildung 55: Weitere Voraussetzung für die Bewertung von Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung)

Im Anschluss folgte eine Analyse der Bauwerksvisualisierungen hinsichtlich ihrer Objektivität oder Subjektivität. Aus der Analyse wird eine Aussortierung der bewerteten Qualitätskriterien vorgenommen. Für die Aussortierung der Kriterien sind zwei Ermittlungsfaktoren wichtig:

- **Die Definition der jeweiligen Kriterien**
- **Die sinnvolle Bewertungsmöglichkeit des Kriteriums**

Folgende Aussortierung lässt sich ableiten: vgl. Abbildung 56.

Überblick Qualitätskriterien			
Bewertende Kriterien			
Dimensionen	objektiv		subjektiv
Medium	Kompatibilität		Benutzerfreundlichkeit
	Auflösung		
Darstellung	Realitätsgrad		Atmosphäre
		Formgebung	Szene
		Farb- und Materialverwendung	Nutzung Schatten und Licht
		Kontextualisierung	Komposition
		Realitätsnahe Beleuchtungssituation	Sichtweise   Blickwinkel
Detaillierung	Detaillierungsgrad		Intuitive Orientierung
			Repräsentativität

Beschreibende Kriterien			
Dimensionen	Kategorisierung		
Form		Digital	Analog
		Immersiv	Nicht Immersiv
		Geometrisch	Alphanumerisch
Darstellung	Art der Darstellung		Statisch
		Darstellungsform	Dynamisch
			Interaktiv

Abbildung 56: Übersicht objektive und subjektive Qualitätskriterien (eigene Darstellung)

Anschließend wird ein Bewertungsschema für die Qualitätskriterien definiert. Dieses basiert auf einer generischen 3-stufigen Skala, welche ausschließlich die bewertenden Merkmale betrifft.

Durch diese Ergebnisse ist es möglich, eine erste mehrdimensionale Matrix für die Definition der Qualität von Bauwerksvisualisierungen zu entwickeln. (Vgl. Abbildung 57)

Bewertende Qualitätskriterien					
Dimensionen	Kategorie	Unterkategorie	Bewertungsskala		
Medium	Benutzerfreundlichkeit		Hoch	Mittel	Gering
	Kompatibilität		Hoch	Mittel	Gering
	Auflösung		Hoch	Mittel	Gering
Darstellung	Atmosphäre				
		Szene	Hoch	Mittel	Gering
		Nutzung Schatten und Licht	Hoch	Mittel	Gering
	Realitätsgrad	Komposition	ansprechend	teilweise ansprechend	nicht ansprechend
		Formgebung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Farb- und Materialverwendung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Kontextualisierung	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
		Realitätsnahe Beleuchtungssituation	realitätstreu	realitätsnah	symbolisch
	Sichtweise   Blickwinkel				
		Intuitive Orientierung	leicht	mittel	schwer
	Repräsentativität	zweckmäßig	teilweise zweckmäßig	unzweckmäßig	
Detaillierung	Detaillierungsgrad		detailliert	vereinfacht	symbolisch

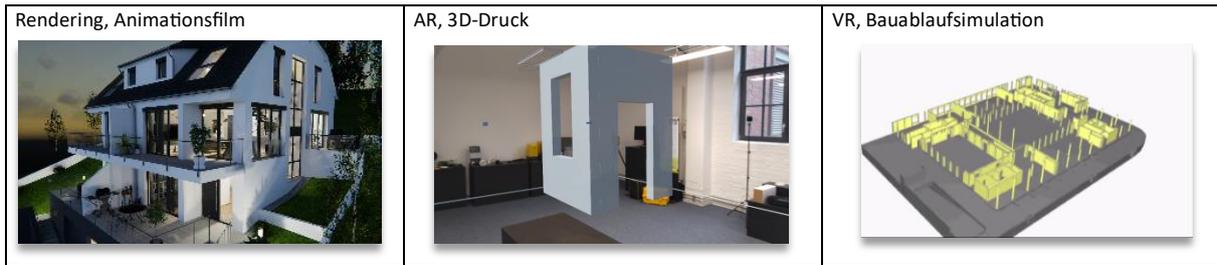
Abbildung 57: Übersicht der bewertenden Kriterien inkl. Skala (eigene Darstellung)

Für ein besseres Verständnis der einzelnen Dimension, Kategorien und Unterkategorien wurde ein Glossar angelegt mit der Definition der einzelnen relevanten Begriffe und deren Dimensionszuordnung. Diese ist im Dokument **Definition der Qualitätskriterien (siehe ANHANG 2: Definition der Qualitätskriterien)** zu finden.

Um die generische Skala weiter zu konkretisieren, ist es notwendig eine genaue Definition der merkmalspezifischen Skalen einzuführen. Durch einen offenen Workshop wurde eine genau Definition der Qualitäten von Bauwerksvisualisierungen ermittelt. Daraus wurde für die jeweiligen Qualitätskriterien der 2. Ebene eine genau Spezifikation der Bewertungsskala mit Beschreibung und Beispielen entwickelt. Wie genau eine solche Beschreibung aufgeschlüsselt ist, wird in Tabelle 18 beispielhaft verdeutlicht:

Tabelle 18: Spezifikation der Qualitätskriterien Realitätsgrad und Bewertungsskala (eigene Darstellung)

REALITÄTSGRAD		
<p><b>Formgebung:</b> „Formgebung bezeichnet einen mehrdimensionalen kreativen Prozess, der darauf abzielt, materielle Objekte zu schaffen, die eine spezifische Wirkung auf den Benutzer haben. Sie umfasst sowohl die ästhetische Gestaltung als auch die technische Umsetzung und die Berücksichtigung von ergonomischen und funktionalen Aspekten.“</p>		
R3	R2	R1
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% der echten Form des Objektes.	entspricht zu 50-75% der echten Form des Gebäudes.	entspricht zu weniger als 50% der echten Form des Gebäudes.
Rendering, Animationsfilm	3D-Druck, AR	Bauablaufsimulation, VR
		
<p><b>Farb- und Materialwahl:</b> „Die Farb- und Materialverwendung beschreibt den Prozess der Gestaltung von Objekten und Räumen unter Berücksichtigung von Farbe und Material. Dabei geht es darum, eine harmonische und sinnvolle Verbindung von Farbe, Material und Funktion zu schaffen, die den Bedürfnissen und Erwartungen der Zielgruppe entspricht.“</p>		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% den echten Farben und Materialien des Objektes.	entspricht zu 50-75% den echten Farben und Materialien des Objektes.	entspricht zu weniger als 50% den echten Farben und Materialien des Objektes.
Rendering, Animationsfilm	AR, VR	3D-Druck, Bauablaufsimulation
		
<p><b>Kontextualisierung:</b> Kontextualisierung bzw. Kontext bezieht sich bei einer Bauwerksvisualisierung auf alle Informationen, die verwendet werden können, um die Situation des betrachteten Bauwerks zu charakterisieren. Dabei können sowohl Informationen über das Bauwerk selbst als auch über seine Umgebung relevant sein. Ein System zur Bauwerksvisualisierung ist kontextualisiert, wenn es den Kontext nutzt, um dem Benutzer relevante Informationen und/oder Dienste bereitzustellen, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen des Betrachters abgestimmt sind. Die Relevanz von Informationen und Diensten hängt dabei von der beabsichtigten Nutzung der Bauwerksvisualisierung ab.</p>		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	entspricht zu 50-75% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	entspricht zu weniger als 50% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.



In einer ähnlichen Logik werden alle weiteren Qualitätskriterien spezifiziert und beschrieben. Diese Ergebnisse sind in der **Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala (siehe ANHANG 3: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala)** zusammengetragen.

## Relevante BIM-Anwendungsfälle zum Einsatz von Bauwerksvisualisierungen

Der Wert von Informationen und damit auch von Visualisierungen ist an einen spezifischen Anwendungsfall bzw. an den umgebenden Kontext gebunden. Er hängt davon ab, wie der Empfänger die Information bewertet und nutzt. Aus diesem Grund ist es unabdingbar, sich die Frage der Definition eines Kontexts zu stellen.

Ein Kontext aus der Entstehung des Wortes bezeichnet der umgebende Text einer sprachlichen Einheit. In der Baubranche werden Kontexte durch Anwendungsfälle definiert. Anwendungsfälle sind Funktionsmodelle bzw. Teile von Funktionsmodellen eines zu entwickelnden Systems.<sup>118</sup> Anwendungsfälle werden definiert, um die wichtigsten Funktionen eines Systems darzustellen und ein konkretes Ziel zu erreichen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die konsolidierten Standardanwendungsfälle von BIM Deutschland als Ausgangspunkt genutzt.

BIM Deutschland definiert standardmäßig zwanzig Anwendungsfälle für die Implementierung der BIM-Methode in Projekten. Aus diesen wurden spezifische Anwendungsfälle für das Forschungsprojekt priorisiert und die entsprechenden Relevanzen ermittelt.

Aus den Ergebnissen wurden insgesamt acht Anwendungsfälle für die weitere Analyse priorisiert. Diese lauten:

- AWF 020: Bedarfsplanung
- AWF 030: Planungsvarianten bzw. Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen
- AWF 050: Koordination der Fachgewerke
- AWF 070: Bemessung und Nachweisführung
- AWF 090: Genehmigungsprozess
- AWF 120: Terminplanung der Ausführung
- AWF 130: Logistikplanung
- AWF 140: Baufortschrittskontrolle

---

<sup>118</sup> Kelter (2003), S. 3.

## Definition des LoV-Konzepts zur Bewertung von Bauwerksvisualisierungen

Die Qualität einer Bauwerksvisualisierung ist stark abhängig von dem entsprechenden Anwendungsfall und der verwendeten Bauvisualisierungsart. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird eine Taxonomie entwickelt, welche die unterschiedlichen Relevanzen der definierten Qualitätskriterien in Abhängigkeit von der gewählten Bauwerksvisualisierung innerhalb eines bestimmten Anwendungsfalls abbildet. Somit finden die beschriebenen Umstände Berücksichtigung bei der Entwicklung des LoV-Konzepts. Das LoV-Konzept ist in der Folge lediglich anwendungsfallsspezifisch einsetzbar.

In Anlehnung an das bereits in der Praxis bekannte und implementierte LOD-Konzept ist das entwickelte LoV-Konzept in einzelne Stufen unterteilt, anhand derer eine Bewertung vorgenommen werden kann. Der LoV wird über drei Stufen definiert, um somit eine klare Eingrenzung der unterschiedlichen Qualitätsstufen zu gewährleisten. Die Berechnung des LoV erfolgt über eine mehrdimensionale Bewertungsmatrix, die - auf Basis der Qualitätskriterien und deren spezifischen Ausprägungsformen - je Anwendungsfall eine individuelle Bewertung der Qualität berechnet. Dies erlaubt eine quantitative Bewertung und Einstufung des LoV, womit Ungenauigkeiten, die bei einer rein qualitativen Bewertung auftreten, eliminiert werden sollen. Die einzelnen LoV-Stufen können auf Basis fest definierter Grenzwerte eindeutig zugeordnet werden. Die genaue Methode zur Entwicklung des LoV-Konzepts kann dem Forschungsendbericht des Projekts entnommen werden.

Das LoV-Konzept lässt sich wie folgt definieren:

- LoV-100: Stufe 1 bei der ausgewählten Bauwerksvisualisierung des Anwendungsfalls
- LoV-200: Stufe 2 bei der ausgewählten Bauwerksvisualisierung des Anwendungsfalls
- LoV-300: Stufe 3 bei der ausgewählten Bauwerksvisualisierung des Anwendungsfalls

Die LoV-Bewertungsmatrix setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die nachfolgend einzeln zur Förderung der Nutzerfreundlichkeit und Praktikabilität erläutert werden:

- **Erste Spalte:** Kategorien – Hier werden alle identifizierten sieben bewertenden Kategorien aufgelistet.
- **Zweite Spalte:** Unterkategorien – Diese Spalte umfasst alle ergänzenden Unterkategorien. Diese sind analog zu den entsprechenden Kategorien.

- **Dritte Spalte:** Bewertungsskala – Diese Spalte dient der allgemeinen Beschreibung bzw. Aufführung der definierten Skalenpunkte.
- **Vierte Spalte:** Bewertung – Diese Spalte dient dem Eintrag der präferierten Bewertungsskala.
- **Fünfte Spalte:** Zwischenscore – Hier wird die Zwischensumme für entsprechende Unterkategorien gebildet.
- **Sechste Spalte:** Kumulierter Zwischenscore – Mithilfe der Zwischensumme kann die kumulierte Zwischensumme berechnet werden. Dies ist lediglich relevant für Kategorien, die über eine Unterkategorie verfügen.
- **Siebte Spalte:** Kumulierte Skala – Hier werden die kumulierten Zwischensummen wieder in das einheitliche Skalenformat überführt.
- **Achte Spalte:** Kumulierte Bewertung – In dieser Spalte werden die kumulierten Bewertungen entsprechend den kumulierten Skalen dargestellt.
- **Neunte Spalte:** Likert-Skala – In dieser Spalte werden die korrespondierenden Likert-Skala-Werte zu den kumulierten Bewertungen dargestellt.
- **Zehnte Spalte:** Gewichtungsfaktor – In Abhängigkeit des vorliegenden Anwendungsfalls werden in dieser Spalte unterschiedliche Einflussfaktoren in den einzelnen (Unter-)Kategorien berücksichtigt und entsprechend wechselnde Relevanzen mithilfe eines Gewichtungsfaktors dargestellt.

Die Bewertungsmatrix ist nachfolgend in Abbildung 40 vollständig dargestellt:

Kategorien	Unterkategorien	Bewertungsskala	Bewertung	Zwischenscore	kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalas	Kumulierte Bewertung	Likert Skala	Gewichtungsfaktor	
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel				Mittel		3		
		Gering				Gering		1		
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel				Mittel		3		
		Gering				Gering		1		
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2	
		Mittel				Mittel		3		
		Gering				Gering		1		
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel								
		Gering								
	Schatten/Licht	Hoch					Mittel			3
		Mittel								
		Gering								
Komposition	Ansprechend					Gering		1		
	Teilweise ansprechend									
	nicht ansprechend									
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreue						5	1	
		realitätsnah				realitätstreu				
		symbolisch								
	Farb-/Materialwahl	realitätstreue								3
		realitätsnah					realitätsnah			
		symbolisch								
Beleuchtungssituation	realitätstreue					symbolisch		1		
	realitätsnah									
	symbolisch									
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2	
		mittel				mittel		3		
		schwer				schwer		1		
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2	
		vereinfacht				vereinfacht		3		
		symbolisch				symbolisch		1		
						<b>Gesamt Punktzahl</b>				
						<b>Erreichter LoV-Stufe</b>				

Abbildung 58: LoV-Bewertungsmatrix

---

Für ein besseres Verständnis der Bestimmung des LoV wird nachfolgend ein Beispiel für den Anwendungsfall 020 und die Visualisierungsart „Rendering“ aufgeführt:

5. Im ersten Schritt wird definiert, für welchen Anwendungsfall die Bauwerksvisualisierung benötigt wird. Insgesamt stehen, die acht Anwendungsfälle aus Tabelle 13 zur Auswahl.
6. Im Anschluss wird auf Grundlage der Form und Art der Darstellung ermittelt, welche Bauwerksvisualisierungsart gewählt werden soll. Dabei werden ebenfalls Empfehlungen für die Anwendung einzelner Bauwerksvisualisierungsarten ausgesprochen. (Vgl. Tabelle 14)
7. Im dritten Schritt wird mithilfe der Bewertungsmatrix und der dort hinterlegten einzelnen Bewertungsskalen die Qualität der verschiedenen Qualitätskriterien bestimmt. Eine Auswahl wird in diesem Beispiel mit einem X markiert. (Vgl.

8. Tabelle 15)
9. Durch die Bestimmung der einzelnen Zwischensummen der Qualitätskriterien (inkl. Kumulation der Zwischensummen der Qualitätskriterien mit Unterkategorien) wird die Qualität der ausgewählten Bauwerksvisualisierung definiert.

Die Ermittlung des Gesamtergebnisses kann somit auf Basis der festgelegten Grenzwerte für diesen Anwendungsfall und die entsprechende Visualisierungsart wie folgt durchgeführt werden:

$$\text{Gesamtergebnis} = \sum [\text{Likert-Skala (A)} \times \text{Gewichtungsfaktor (A)}]$$

$$\begin{aligned} \text{Gesamtergebnis} &= (1 \times 1) + (1 \times 1) + (3 \times 1) + (3 \times 1) + (3 \times 2) + (3 \times 2) + (5 \times 2) \\ &= (2 \times 1 \times 1) + (2 \times 3 \times 1) + (2 \times 3 \times 2) + (1 \times 5 \times 2) \\ &= 2 + 6 + 12 + 10 \\ &= \mathbf{30 \text{ Punkte} \rightarrow \text{LoV-200}} \end{aligned}$$

Aus dieser Ermittlung ergibt sich folgender LoV: **LoV-200 für Rendering bei AWF 020.**

Tabelle 19: AWF Prio 1

Anwendungsfall	Benennung
AWF 020	Bedarfsplanung
AWF 030	Planungsvarianten / Erstellung haushaltsbegründender Unterlagen
AWF 050	Koordination der Fachgewerke
AWF 060	Planungsfortschrittskontrolle und Qualitätsprüfung
AWF 090	Genehmigungsprozess
AWF 120	Terminplanung der Ausführung
AWF 130	Logistikplanung
AWF 140	Baufortschrittskontrolle

Tabelle 20: Ermittlung der Bauwerksvisualisierung

Bauwerksvisualisierung	Form						Art der Darstellung		
	Form 1		Form 2		Form 3		Darstellungsform		
3D-Druck	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Rendering	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Animationsfilm	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Bauablaufsimulation	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Augmented Reality	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv
Virtual Reality	Analog	Digital	Nicht immersiv	immersiv	Geometrisch	alphanumerisch	Statisch	Dynamisch	Interaktiv

Tabelle 21: Demonstrator - Ermittlung eines LoV für AWF 020 - Rendering

Kategorien	Unterkategorien	Bewertungsskala	Bewertung	Zwischenscore	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Likert-Skala	Gewichtungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		1	1
		Mittel				Mittel			
		Gering	x			Gering	x		
Kompatibilität		Hoch				Hoch		1	1
		Mittel				Mittel			
		Gering	x			Gering	x		
Auflösung		Hoch				Hoch		3	2
		Mittel	x			Mittel	x		
		Gering				Gering			
Atmosphäre	Szene	Hoch		1	$(1+1+5)/3 = 2,34 \Rightarrow 3$	Hoch		3	1
		Mittel							
		Gering	x						
	Schatten/Licht	Hoch		1		Mittel	x		
		Mittel							
		Gering	x						
Komposition	Ansprechend	x	5	Gering					

Kategorien	Unterkategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Likert-Skala	Gewichtungs-faktor	
		Teilweise ansprechend								
		nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu		3	$(3+3+1+1) / 4 = 2 \Rightarrow 3$	realitätstreu		3	1	
		realitätsnah	x							
		symbolisch								
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu		3						
		realitätsnah	x							
		symbolisch								
	Kontextualisierung	realitätstreu		1						
		realitätsnah								
		symbolisch	x							
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu		1						
		realitätsnah								
		symbolisch	x							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		3	2	
		mittel	x			mittel				x
		schwer				schwer				
Detaillierung	Detaillierungsgrad	detailliert	x			detailliert	x	5	2	
		vereinfacht				vereinfacht				
		symbolisch				symbolisch				

Tabelle 22: Grenzwerte des LoV-Konzepts

AWF 020 – Visualisierung Rendering	
Stufe	Punktespektrum
LoV-100	10-23
LoV-200	24-37
LoV-300	38-50

Dieser Demonstrator befindet sich ebenfalls im **ANHANG 4: LoV-Matrix für priorisierte BIM-Anwendungsfälle**

## Schlusswort

Der Bausektor erfährt aufgrund technologischer Innovationen einen massiven Wandel. Einer der Faktoren dieses Wandels ist Building Information Modeling - BIM. Das BIM-Modell ist die perfekte Grundlage, um digitale Bauvisualisierungen wie Renderings, VR, AR, 3D-Drucke zu erstellen und erleichtert damit die Umsetzung in der Bauwirtschaft.

Bauwerksvisualisierungen werden häufig als Kommunikationsmittel eingesetzt, um bestimmte Aspekte eines Projekts realistischer zu erfassen oder den Austausch zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu erleichtern.

Ziel des BIM-LoVE-Leitfadens ist es, Auftraggebern und Auftragnehmern eine objektive Lösung für die Frage der Bewertung von Bauwerksvisualisierungen vorzuschlagen. In Projekten ist die Bauwerksvisualisierung oft sehr umstritten, da der Aufwand für die Erstellung nicht immer mit der gelieferten Qualität korreliert. Diese Kontroversen resultieren aus einer Fehlkommunikation in der Erwartungshaltung des Auftraggebers sowie aus dem Fehlen eines klaren Prozesses zur Bewertung bzw. Definition der Qualität von Bauwerksvisualisierungen.

Je nach Empfänger oder Ziel der Visualisierung werden unterschiedliche Kriterien hervorgehoben, während andere heruntergespielt werden. Darüber hinaus haben die diversen Bauwerksvisualisierungen in Abhängigkeit des vorgesehenen Einsatzes Vor- und Nachteile bei der Anwendung.

Das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte LoV-Konzept bietet hier eine solide Grundlage für die Kommunikation zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern, die weniger Erfahrung in diesem Bereich haben. Es verbessert auch das Verständnis für bestimmte Details oder spezifische Aspekte eines Projekts. Zum Beispiel die Tiefenwahrnehmung im Raum, die Farbe der Materialien, die Reflexion des Sonnenlichts in Abhängigkeit von der Zeit. Es sorgt darüber hinaus für Transparenz in der Kommunikation zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern und für Klarheit bei den Qualitätserwartungen.

Dieser Leitfaden leistet Pionierarbeit bei der grundlegenden Definition von Bauwerksvisualisierung und schlägt einen höchst anpassungsfähigen Weg zur Beschreibung von Qualität vor, der auf den verschiedenen inhärenten Qualitätskriterien von Visualisierungen, vordefinierten BIM-Anwendungsfällen sowie ausgewählten Arten von digitalen Visualisierungen basiert. Es handelt sich um ein dynamisches Konzept, das durch zukünftige Iterationen weiter angepasst werden kann.

Mit der Umsetzung dieses Leitfadens wird eine Steigerung der Akzeptanz und des Einsatzes digitaler Visualisierungen im Bauwesen erwartet. Die Einschränkungen bei der Auswahl der

BIM-Anwendungsfälle verdeutlichen den Bedarf an weiterer Forschung in diesem Bereich, um ein allgemein anwendbares LoV-Konzept entwickeln zu können und die große Lücke in der Kommunikation zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern zu schließen.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur des Leitfadens (eigene Darstellung) .....	251
Abbildung 2: Umfrageergebnisse - Mehrwert von Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung) .....	255
Abbildung 3: Beispiel eines Architekturmodells (eigene Darstellung) .....	259
Abbildung 4: Beispielmodelle des 3D-Druckverfahrens (eigene Darstellung) .....	261
Abbildung 5: Beispiel einer Handskizze (eigene Darstellung) .....	261
Abbildung 6: Beispiel Virtual Reality (eigene Darstellung) .....	263
Abbildung 7: Vergleich Video-see-through und Optical-see-through .....	264
Abbildung 8: Beispiel Augmented Reality (eigene Darstellung) .....	265
Abbildung 9: Bürogebäude (eigene Darstellung) .....	266
Abbildung 10: Rendering - Bötzw Brauerei, Berlin, Deutschland — Texturiertes Rendering als 'Modellfoto' (eigene Darstellung) .....	267
Abbildung 11: Rendering - Musée des Beaux-Arts, Reims, Frankreich — Umgebungsfoto mit eingesetztem Rendering (eigene Darstellung) .....	267
Abbildung 12: Fotomontage - Spreedreieck, Berlin, Deutschland — Collage aus Umgebungs- und Modellfoto (eigene Darstellung) .....	268
Abbildung 13: Beispiel einer Bauablaufsimulation (eigene Darstellung) .....	270
Abbildung 14: Beschreibende Kriterien (eigene Darstellung) .....	272
Abbildung 15: Weitere Voraussetzung für die Bewertung von Bauwerksvisualisierungen (eigene Darstellung) .....	273
Abbildung 16: Übersicht objektive und subjektive Qualitätskriterien (eigene Darstellung) ..	274
Abbildung 17: Übersicht der bewertenden Kriterien inkl. Skala (eigene Darstellung) .....	275
Abbildung 18: LoV-Bewertungsmatrix .....	280

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anordnung der Qualitätskriterien in verschiedenen Ebenen (eigene Darstellung) .....	271
Tabelle 2: Spezifikation der Qualitätskriterien Realitätsgrad und Bewertungsskala (eigene Darstellung) .....	276
Tabelle 3: AWF Prio 1 .....	281
Tabelle 4: Ermittlung der Bauwerksvisualisierung .....	282
Tabelle 5: Demonstrator - Ermittlung eines LoV für AWF 020 - Rendering .....	282
Tabelle 6: Grenzwerte des LoV-Konzepts.....	283

## Anhänge

Anhang 1: BIM-LoVE-Glossar

Anhang 2: Definition der Qualitätskriterien

Anhang 3: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala

Anhang 4: LoV-Matrix der priorisierten BIM-Anwendungsfälle

## ANHANG 1: BIM-LoVE-Glossar

### Allgemein

#### **BIM-Viewer**

„Software zur Betrachtung und teilweise auch Auswertung von Bauwerksmodellen, ohne die Funktionalität dieser zu ändern.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

#### **Dimensionen**

Eine Dimension stellt die physische Ausdehnung (nach Länge, Breite und Höhe) oder das Ausmaß (im Hinblick auf seine räumliche, zeitliche, begriffliche Erfassbarkeit) eines Körpers oder Objektes dar.

In diesem Projekt könnten die Dimensionen als Indikatoren zur Beschreibung und Kategorisierung einer Bauwerksvisualisierung betrachtet werden.

#### **Domäne**

„fach-, gewerke-, disziplin- oder systemspezifische Sicht auf Daten, die technische Systeme des Bauwerks oder die wirtschaftlichen Systeme seiner Erstellung (Fachgebiete), die Fachdisziplinen der Projektteilnehmer (Anwenderdomänen) und die von ihnen genutzten Sichten auf die Projektdaten (Anwendungsdomänen) betrachten.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

#### **Alphanumerische Bauwerksvisualisierung**

Alphanumerische Informationen sind Sachdaten von Flächen, technischen Anlagen, bauphysikalischen Anforderungen und der Statik von Gebäuden. Die Sachdaten werden in Datenbanken strukturiert und in ein BIM-Modell eingepflegt. Diese alphanumerischen Informationen können mit Hilfe von Visualisierungen grafisch dargestellt werden.

*Alphanumerische Daten (o. J.) gefma.de URL:  
<https://www.gefma.de/glossar/glossar-popup/news/alphanumerische-daten/> (Zugriff am  
13.11.22)*

### **As-built-Modell**

„im Zuge der Ausführung aufgenommenes, angepasstes Bauwerks-Informations-Modell, das den Istzustand bis zum definierten Detaillierungsgrad und im vereinbarten Umfang widerspiegelt“

Anmerkung: Das As-built-Modell kann als Grundlage für das Betreibermodell dienen.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Bauwerks-Informations-Modell**

„objektbasierte digitale Abbildung der physischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks“

Anmerkung: Es wird bei dem Begriff ‚Bauwerks-Informations-Modell‘ von einem koordinierten Gesamtmodell ausgegangen, das sich aus einem oder mehreren Fach- und Teilmodellen einzelner beteiligter Fachplaner (Architekturmodell, Tragwerksmodell, TGA-Modell usw.) zusammensetzt. Das Bauwerks-Informations-Modell ist in der Regel zentraler BIM-Bestandteil.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Bauwerksinformationsmodellierung BIM (engl.: Building Information Modeling)**

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“

*Stufenplan Digitales Planen und Bauen des BMVI vom 15.12.2015.*

„Nutzung einer untereinander zur Verfügung gestellten digitalen Repräsentation eines Assets zur Unterstützung von Planungs-, Bau- und Betriebsprozessen als zuverlässige Entscheidungsgrundlage.“

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den baulichen Assets gehören unter anderem Gebäude, Brücken, Straßen und Prozessanlagen.

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Bauwerksvisualisierung**

Eine Bauwerksvisualisierung ist ein virtuelles oder physisches Abbild eines Bauwerkes bzw. eine optische Veranschaulichung von Bauwerksinformationen.

### **Daten**

„formalisierte Darstellung von Information, geeignet zur Kommunikation, Interpretation oder Verarbeitung.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Datenaustauschscenario**

Prozess zu einem definierten Zeitpunkt, zu dem Daten zwischen Beteiligten ausgetauscht werden. Anmerkung: Ein Datenaustauschscenario kann eine oder mehrere Austauschforderungen enthalten.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Extended Reality**

„**Extended Reality / Erweiterte Realität (XR)** bezieht sich auf alle kombinierten realen und virtuellen Umgebungen und Mensch-Maschine-Interaktionen, ist also zuzusagen das ‚**Sammelbecken**‘ für repräsentative Formen wie Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) sowie die zwischen ihnen interpolierten Bereiche. Erzeugt werden diese durch

Computertechnologie und Wearables. **XR bietet ein Erlebnis für die Sinne.** Die Linie zwischen Realität und simulierter Welt verschwimmt, da man visuell, akustisch oder auch haptisch in eine andere Welt eintaucht.“

*XR, AR, VR, MR – hinter Abkürzungen verbergen sich Welten (o. J.) Hyve.net*

*URL: <https://www.hyve.net/de/blog/all-about-virtual-reality/> (Zugriff am 09.05.22)*

### **Flächenmodell**

„Form des Geometriemodells, bei dem der geometrische Körper anhand begrenzender Flächen beschrieben wird.

Anmerkung: Durch dieses Verfahren können offene Geometrien entstehen, die eine direkte Volumenberechnung nicht erlauben. Das Flächenmodell ist ein Modelltyp, der insbesondere zur Visualisierung von Infrastrukturmodellen (z. B. für digitale Geländemodelle) zur Anwendung kommt. Objekte werden dabei durch häufig nicht geschlossene Dreiecksnetze bzw. -horizonte im 3-D-Raum beschrieben.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Industry Foundation Classes (IFC)**

„herstellerunabhängiges, offenes Datenmodell (Datenaustauschformat) zum Austausch von modellbasierten Daten und Informationen in allen Planungs-, Ausführungs- und Bewirtschaftungsphasen

Anmerkung: buildingSMART International entwickelt und etabliert Industry Foundation Classes als offenen, internationalen Standard für das Bauwesen. Industry Foundation Classes ist in DIN EN ISO 16739 als internationaler Standard definiert.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Informationsbestellung**

„Vereinbarung über die Bereitstellung von Informationen (3.3.1), die Arbeiten, Waren oder Dienstleistungen betreffen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff wird verwendet, unabhängig davon, ob es eine formale Vereinbarung zwischen den Parteien gibt oder nicht.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Informationsbedarfstiefe LOIN** (engl.: Level of Information Need)

„Vorgabe, die den Umfang und die Anzahl der Untergliederung der Informationen definiert

Anmerkung 1 zum Begriff: Eines der Ziele der Definition der Informationsbedarfstiefe ist, die Bereitstellung von zu vielen Informationen zu verhindern.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Interaktion**

„Handlungen zwischen zwei Rollen, die für das Zustandekommen einer Informationslieferung zur Erfüllung der vordefinierten Auftraggeber-Informations-Anforderungen relevant sind.

Anmerkung: Eine Interaktion kann innerhalb einer Phase oder über mehrere Projektphasen hinweg stattfinden. Die Interaktionen können wiederholt werden.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Kanäle**

Ein Kanal ist in der Kommunikation ein Träger, ein „Container“ um eine Nachricht von Sender:in zu Empfänger:in zu übermitteln.

### **Laserscanning**

„dreidimensionales berührungsloses Aufmaßverfahren, bei dem die Umgebung durch einen rotierenden Laser rasterförmig abgetastet wird, wodurch ein fein aufgelöstes Abbild der Oberfläche entsteht.

Anmerkung: Aus den gewonnenen Daten (Punktwolke) lassen sich beispielsweise verformungstreue Pläne oder 3-D-Modelle ableiten (siehe auch As-built-Model und Bestandsmodell).“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Metadaten**

„Strukturierte Daten, die Informationen über Merkmale anderer Daten enthalten.“ In dem Projekt wären hier Objektattribute darunter zu verstehen.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Mixed Reality**

„Mixed Reality (MR) ist ein Kontinuum, welches sich zwischen der Realität und der Virtualität (virtuellen Realität) erstreckt, wobei der Anteil der Realität kontinuierlich abnimmt, während sich der der Virtualität entsprechend erhöht. Soweit der Anteil der Virtualität hier überwiegt, ohne dass die Umgebung dabei ausschließlich virtuell ist (virtuelle Realität), so spricht man von Augmentierter Virtualität (engl. Augmented Virtuality). Ist hingegen der Anteil der Realität größer, so handelt es sich um AR.“ (Milgram, 1995 zitiert nach Doerner, Grimm & Jung (2022), S. 22.)

*Doerner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (2022): Virtual Reality and Augmented Reality (VR/AR): Foundations and Methods of Extended Realities (XR). Cham: Springer International Publishing.*

### **Objektorientierte Modellierung**

„Konstruktion eines digitalen Modells mithilfe von Modellelementen wie Wänden, Türen und nicht auf Basis von Flächen und Linien.

Anmerkung: Diese Objekte besitzen neben der Geometrie auch weitere verknüpfte Informationen wie Material, physikalische Kennwerte.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Punktwolke**

„Menge von Punkten, die einen dreidimensionalen Raum bezeichnet, wobei die Punkte neben ihren Koordinaten (X, Y, Z) auch weitere Informationen wie Intensitäts- oder Farbwerte enthalten.“

Anmerkung: Die Punktmenge kann beispielsweise durch die Aufnahmeverfahren Laserscanning oder Fotogrammetrie erfasst werden. Aus den Punktwolken können Bauwerksmodelle abgeleitet werden.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Visuelle Eindeutigkeit**

„Das Qualitätskriterium ‚visuelle Eindeutigkeit‘ besagt, dass Visualisierungen möglichst eindeutig und verständlich sein sollten. Auf Bildelemente, die ablenken und verwirren, sollte verzichtet werden; genauso auf visuelle Inszenierungen, die auf starke Emotionalität setzen und eine inhaltliche Auseinandersetzung mit der Visualisierung erschweren.“ (Vgl. Sachliche Richtigkeit)

*Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 37.*

## **3D-Modell**

„dreidimensionale digitale Abbildung eines Bauwerks.“

Anmerkung: Das 3-D-Modell ist im Kontext von BIM in der Regel objektbasiert (z. B. mit nicht geometrischen Informationen ergänzt) und ein zentraler Bestandteil der Methode.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **4D-Modell**

„erweitertes 3-D-Modell, bei dem Modellelemente den Vorgängen eines Terminplans zugeordnet werden.“

Anmerkung: Durch die Verwendung eines 4-D-Modells kann beispielsweise der zeitliche Verlauf der Erstellung eines Bauwerks simuliert werden. Planung und Steuerung von Bauablaufplänen können kontrolliert/optimiert werden (4-D = 3-D + Zeit).“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **5D-Modell**

„Bauwerksmodell, bei dem Zeiten (4-D) und Kosten (5-D) mit Objekten eines 3-D-Modells verknüpft werden.

Anmerkung: Es werden die modellbasierten Mengen, der Material-/Personalbedarf sowie Kostenansätze berücksichtigt. Hierbei kann neben der 4-D-Bauablaufsimulation auch der Kostenverlauf sowie Material- und Personalganglinien simuliert werden (5-D = 3-D + Zeit + Kosten).“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Visualisierungsarten**

#### **Visualisierung**

„Bildliche Darstellung des Bauwerks sowie von Modellinformationen zur Veranschaulichung und Kommunikation

Anmerkung: Die Visualisierung vereinfacht die Kommunikation über ein Bauprojekt insbesondere für nicht fachkundige Beteiligte. Eine Steigerung der Visualisierung ist die Virtualisierung, bei der ein Bauwerk virtuell betreten werden kann.“ Die Unterschiede und Einsatzmöglichkeiten der Visualisierungen werden in der Testphase genauer erläutert.

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

#### **Animationsfilme**

Bei Animationsfilmen handelt es sich um eine dynamische, nicht interaktive Visualisierungsart, bei der Bewegtbilder aus dem dreidimensionalen, digitalen Bauwerksmodell erstellt werden. Durch eine Verschiebung des Ortes bzw. durch eine Bewegung des Objektes entsteht eine Dynamik, die als Bewegtbildproduktion wahrgenommen wird.

*Brettschneider et al. (2017), S. 1.*

Animationsfilme bestehen aus einer sehr schnellen Abfolge von einer hohen Anzahl an Einzelbildern, wobei auch Musik oder andere Geräusche integriert werden können. Sie werden häufig für die virtuelle Darstellung von Gebäuden und Umgebungen verwendet. Dabei wird zwischen einem sogenannten Walk-through, also einem Rundgang durch das Gebäude aus der Ich-Perspektive, und einem Fly-through, wobei die Kamera aus verschiedenen Perspektiven an das Gebäude heranschwebt, unterschieden

*Spieker, S. 59.*

### **Architekturmodelle**

Architekturmodelle sind virtuelle oder physische Abbildungen eines Entwurfs oder eines bereits bestehenden Bauwerks. Sie werden heutzutage hauptsächlich im Rahmen von Architekturwettbewerben für öffentliche und private Projekte eingesetzt.

Modelle besitzen drei wesentliche Merkmale:

- 1. Das Abbildungsmerkmal: „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wie Modelle sein können.“ (S. 131)
- 2. Das Verkürzungsmerkmal: „Modelle erlassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant erscheinen.“ (S. 132)
- 3. Das Pragmatische Merkmal: „Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“ (S. 132f.)

*Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien, New York: Springer Verlag, URL: <https://archive.org/details/Stachowiak1973AllgemeineModelltheorie> (Zugriff am 26.02.22)*

### **Arbeits- und Koordinationsmodelle**

Die verschiedenen Arbeits- und Koordinationsmodelle beinhalten einzelne Modellelemente mit geometrischen, materiellen und funktionalen Eigenschaften, die darüber hinaus mit zeitlichen Abläufen und Kosten verknüpft sein können. Zweck der Fachmodelle ist die Planung und Dokumentation der Erstellung und des Betriebs des Bauwerks. Für die Modelle gilt: Je höher der Detaillierungsgrad ist, desto zuverlässiger sind die darin enthaltenen

Informationen. Auf Basis des Koordinationsmodells können Abstimmungen, Konfliktprüfungen sowie Soll-Ist-Vergleiche durchgeführt werden. Arbeits- und Koordinationsmodelle sind eng mit der Building Information Modeling-Methode verknüpft und hängen von den jeweiligen Software-Programmen ab.

*Borrmann et al. (2021), S. 695.*

### **Augmented Reality**

Augmented Reality ergänzt zu der realen Umgebung einzelne virtuelle Elemente in Echtzeit. Im Bereich AR wird zwischen den Arten „Video-see-through“ und „Optical-see-through“ unterschieden. „Video-see-through“ bedeutet, dass die Umgebung durch eine Kamera (z. B. Smartphone) erfasst wird und so ein Bild der realen Umgebung, ergänzt mit virtuellen Elementen, über ein Display ausgegeben wird. Beim sogenannten „Optischen-see-through“ hingegen werden Spezialbrillen benötigt, durch die der Nutzer die Umgebung begutachten kann, während gleichzeitig virtuelle Inhalte direkt auf den Brillengläsern eingeblendet werden.

*Ma et al. (2011), S. 7.*

### **Bauablaufsimulation**

Die Bauablaufsimulation oder 4D-Bauablaufsimulation (im Englischen oft als construction sequencing bezeichnet) beschreibt die Simulation und animierte 3D-Visualisierung des geplanten Bauablaufs. Dabei werden die Elemente eines 3D-Modells der Terminplanung im Projekt zugeordnet, um die Abläufe in Planung und Bauphase abzubilden, zu kontrollieren und effektiv zu steuern.

*[Bauablaufsimulation | BIM | Glossar | BauNetz\\_Wissen \(baunetzwissen.de\)](#)*

### **3D-Echtzeitsimulation**

Echtzeitsimulationen bieten die Möglichkeit, ein Bauwerk räumlich zu erleben, indem eine 3D-Umgebung aus den Informationen des BIM-Modells erstellt wird. Noch vor der eigentlichen Bauausführung können so Abläufe und Strukturen dynamisch und mehrfach simuliert werden, um eine ideale Entscheidungsfindung bezüglich geplanter Prozesse zu generieren (teamplan.de). Echtzeit-simulationen ermöglichen eine individuelle Navigation,

wobei die dreidimensionalen Geometrien des Bauwerks aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden können. (Schildwächter & Zeile, S. 235–236). Die Qualität von Echtzeitvisualisierungen ist dabei von der Latenzzeit des Systems und von der Bildwiederholungsrate abhängig.

*Computergestützte Echtzeitsimulation (o. J.) teamplan.de URL:*

<https://www.teamplan.de/planen-beraten/computergestuetzte-echtzeitsimulation> (Zugriff am 13.11.22)

### **Fotomontage**

„In der Montage im Bild oder der Collage werden Elemente aus Bildern [...] miteinander kombiniert. Das so entstandene Bild bildet eine neue Komposition und kann damit Träger einer Aussage werden, die nicht in den einzelnen Teilen des Bildes enthalten war.“

*Bildmontage, Universität Tübingen (o. J.) gib.uni-tuebingen.de URL:*

<https://www.gib.uni-tuebingen.de/netzwerk/glossar/index.php?title=Bildmontage> (Zugriff am 13.11.22)

### **Rendering**

„Beim *Rendern* werden die dreidimensionalen Modelle mit Texturen belegt, Materialeigenschaften festgelegt und Lichtquellen sowie die Position und Blickrichtung des Betrachters definiert. Es entstehen realistische Bilder, die kaum von einem Foto zu unterscheiden sind.“

*Ellmer, Katrin Anna (o. J.): Rendering, <http://minilexikon-architektonischer-modebegriffe.tugraz.at> URL: <http://minilexikon-architektonischer-modebegriffe.tugraz.at/index.php/modebegriffe/rendering/> (Zugriff am 13.11.22)*

### **Virtual Reality**

Virtuelle Realität ist eine interaktive, computergenerierte Umgebung, die die reale Umgebung vollständig überlagert (VDI-Verein Deutscher Ingenieure, S. 13). Das Eintauchen in die virtuelle Umgebung wird als Immersion bezeichnet, wobei eine Technologie mit steigender Überlagerung der Realität immersiver wird. Um Virtual Reality und das stereoskopische Sehen (Wahrnehmung von räumlicher Tiefe) nutzen zu können, werden spezielle Ein- und Ausgabegeräte benötigt, die eine freie Navigation in Echtzeit ermöglichen. Ausgabemedien für VR sind meist 3D-Powerwalls, Caves oder Head Mounted Displays.

*Brettschneider et al. (2017), S. 19–20.*

## **2D-Skizze (Handskizze)**

Eine Skizze ist im Allgemeinen eine Zeichnung, die sich auf das Wesentliche beschränkt. In der Architektur wird sie dazu genutzt, um Ideen und Vorstellungen hervorzubringen.

## **2D-Plan**

Ein Plan wird im Projekt meistens genutzt, um konstruktive Details hervorzuheben und zu präsentieren, die sich nicht oder nur bedingt in einem 3D-Modell erkennen lassen.

## **Rollen**

### **Adressat / Adressatin**

Männliche oder weibliche Person, an die etwas gerichtet ist, für die etwas bestimmt ist; Empfänger (einer Postsendung). Im Kontext der Bauwerksvisualisierung sind Adressaten hier die Personen, für die eine Bauwerksvisualisierung erstellt wird.

### **Akteur / Akteurin**

„Person, Organisation oder Organisationseinheit, die in einen Bauprozess eingebunden ist.“

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den Organisationseinheiten gehören unter anderem Abteilungen und Teams.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Rahmen dieses Dokuments finden die Bauprozesse während der Bereitstellungsphase und der Betriebsphase statt.

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Autor / Autorin**

Hier versteht man unter Autor den Hersteller einer Visualisierung.

### **Empfänger / Empfängerin**

Der Empfänger einer Bauwerksvisualisierung ist derjenige, für den die Visualisierung erstellt wird (Auftraggeber, Fachplaner, Öffentlichkeit, usw.).

### **Nutzer / Nutzerin**

Im Fall der Bauwerksvisualisierung kann damit die Person gemeint sein, die das jeweilige Programm nutzt, um die Bauwerksvisualisierung zu betrachten.

### **Sender / Senderin**

Männliche oder weibliche Person in einer Kommunikationssituation, die eine Botschaft an den Empfänger vermittelt.

In diesem Projekt könnte der Sender auch als Autor oder Ersteller betrachtet werden. „Anbieter von Informationen (3.3.1) über Arbeiten, Waren oder Dienstleistungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Für jedes Bereitstellungsteam (3.2.6) sollte ein federführender Informationsbereitsteller benannt werden. Dieser kann auch eines der Aufgabenteams (3.2.7) sein. Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird verwendet, unabhängig davon, ob eine formale Informationsbestellung zwischen den Parteien vorliegt oder nicht.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Informationsbesteller**

„Empfänger von Informationen über Arbeiten, Waren oder Dienstleistungen von einem federführenden Informationsbereitsteller.

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Ländern kann der Informationsbesteller als Auftraggeber, Eigentümer oder Arbeitgeber bezeichnet werden, aber der Informationsbesteller ist nicht auf diese Funktionen beschränkt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird verwendet, unabhängig davon, ob eine formale Informationsbestellung zwischen den Parteien vorliegt oder nicht.

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Medium**

### **Medium**

Das Medium kann als „Verständigungsmittel“ oder auch als „Transportmittel“ zwischen dem Sender und dem Empfänger definiert werden.

### **Ausgabemedien**

Ein Ausgabemedium oder auch Ausgabegerät ist ein „technisches Gerät, das als (eine) Ausgabeeinheit eines Computers dient, d. h. durch die die verarbeiteten Daten nach außen ausgegeben werden können, z. B. Bildschirm, 3D-Drucker, Handy, Oculus-Brillen etc.

### **Herstellmedien**

Ein Herstellmedium ist ein Element (Träger), das Informationen, Daten oder Materialien verarbeitet, zusammenführt und transformiert. Zweck des Herstellmediums ist die Produktion bzw. Schöpfung von einem Gut, nicht die Präsentation bzw. Darstellung. (Visualisierungserstellungssoftware).

## **Darstellung**

### **Darstellung**

Unter Darstellung versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks.

### **Dynamische Visualisierung**

„Dynamische Visualisierung: Merkmale sind kontinuierlich manipulierbare Informationsstrukturen, Kontext und Fokustechniken sowie 2D-, 3D- und immersive Informationsdarstellungen.“

*Ziegler, J.; Beinhauer, W. (2007): Interaktion mit komplexen Informationsräumen. München, Wien: Oldenbourg Verlag, S. 12.*

Dynamische Visualisierungen sind Darstellungsarten, die Bewegungen beinhalten, d. h. Videos, Animationen.

### **Interaktive Visualisierung**

„Interaktive Visualisierungen sind Darstellungsarten, welche eine Interaktivität ermöglichen, d. h. beispielsweise Simulationen. Die bieten eine Eingriffsmöglichkeit für den Nutzer.“

*DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Statische Visualisierung**

Eine statische Visualisierung ist eine Art der Visualisierung, bei der das Abgebildete keine Bewegung aufweist. Hierzu zählt beispielsweise das klassische 3D-Rendering.

### **Atmosphäre**

Atmosphäre bezeichnet aus rezeptionstheoretischer Sicht eine subjektive Stimmung, die sozial und von der äußeren Umgebung vermittelt wird, oder aber eine objektive Eigenschaft einer Umgebung, die sich nicht allein auf einen einzelnen Gegenstand zurückführen lässt, sondern auf die Art der Zusammenstellung dieser Umgebung.

Als Kriterium sind folgende Unterpunkte in dem Begriff Atmosphäre zusammengefasst:

- Grad der Inszenierung
- Grad der Emotionalisierung
- Grad der Ablenkung
- Repräsentativität

*Definition Atmosphäre Academic (o. J.) academic.com URL:*

<https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/109161> (Zugriff am 22.09.22)

### **Ablenkung**

Ablenkung ist im Kontext der Visualisierungen eine physische Zerstreuung aufgrund von visuellen Objekten, die in Anzahl und Anordnung von geringer Relevanz sind.

### **Inszenierung**

Bezeichnet hier die Kunst, eine Bauwerksvisualisierung bezüglich eines bestimmten Aspektes einzurichten. Dies ermöglicht den gewünschten Aspekt in den Vordergrund zu setzen.

### **Repräsentativität**

„Das Qualitätskriterium ‚Repräsentativität‘ besagt, dass eine Visualisierung typische und relevante Blickwinkel auf das Bauvorhaben einnehmen sollte. Typisch und relevant bedeutet, dass diese Blickwinkel diejenigen sind, die im Alltag besonders häufig eingenommen werden und/oder die von besonderer Bedeutung sind.“

*Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 36.*

### **Sachliche Richtigkeit**

„Das Qualitätskriterium ‚sachliche Richtigkeit‘ enthält die Forderung, geplante Bauwerke und ihre Umgebung entsprechend ihrer Größe, Proportion, Form- und Farbgebung sowie Position abzubilden.“

*Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 30.*

### **Wahrheitsgehalt**

Der Wahrheitsgehalt gibt an, wie wahr eine Darstellung im Vergleich zur Realität oder zur späteren Ausführung ist. Der Grad der Realität ist hier mit dem Wahrheitsgehalt gleichzusetzen. Eine Visualisierung kann aufgrund von sachlichen Fehlern und Emotionalisierung nicht der Wahrheit/Realität entsprechen.

Die sachliche Richtigkeit und der Wahrheitsgehalt werden in einem Kriterium zusammengefasst und beinhalten folgende Unterpunkte:

- Maßstabsgetreue Abbildung
- Korrekte Formgebung und Größe
- Korrekte Farb- und Materialverwendung
- Umgebende Objekte darstellen
- Schatten und Licht darstellen

### **Blickwinkel/Sichtweise**

Der Blickwinkel bezieht sich auf die Perspektive, die der Betrachter bei einer Visualisierung einnimmt. Dieses Kriterium beinhaltet folgende Unterpunkte:

- Auswahl der Betrachter-Standorte/Perspektiven
- Auswahl von Tages-/Jahreszeit
- Auswahl von Blickhöhe

## **Detailierung**

### **Detailierungsgrad**

„Detailierungsgrad, Fertigstellungsgrad oder auch Informationsgrad sind Bezeichnungen, die den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen beschreiben. Im englischsprachigen Raum wird meist das Akronym LOD verwendet, das je nach Definition für Level of Detail, Level of Development oder Level of Definition steht. Um den Informationsgehalt getrennt nach geometrischen und alphanumerischen Modellinformationen zu beschreiben, werden in diesem Zusammenhang auch die Akronyme LOG (Level of Geometry) und LOI (Level of

Information) benutzt. Im Folgenden wird LOD als Level of Detail in Bezug auf die Geometrie und LOI in Bezug auf die Alphanumerik verwendet.“

*Was bedeutet LOD/LOI. (o. J.). Baunetzwissen. URL:  
<https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890Stachowiak1973AllgemeineModelltheorie> (Zugriff am 06.03.22)*

### **Abstraktionsgrad**

Der Abstraktionsgrad beschreibt den Grad bzw. die Abstufung der Vereinfachung einer Visualisierung. Hier ist das Ziel, die Darstellung zu verallgemeinern.

### **Level of Geometry (geometrischer Detaillierungsgrad)**

„Detaillierungsgrad der geometrischen Modellelemente in fachspezifischen Bauwerksmodellen.“

Anmerkung: Dieser wird oft im Zusammenhang mit entsprechenden BIM-Anwendungen, wie Kostenermittlung, aufgestellt.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Level of Information (alphanumerischer Detaillierungsgrad)**

„Grad der Attribuierung der Modellelemente in fachspezifischen Bauwerksmodellen.“

Anmerkung: Dieser wird oft im Zusammenhang mit entsprechender BIM-Anwendung, wie projektbegleitendes Facility-Management, aufgestellt.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

### **Fertigstellungsgrad**

„Level of development: Ausarbeitungsgrad der fachspezifischen Bauwerksmodelle zu einer bestimmten Projektphase und für die Freigabe der BIM-Anwendungen.“

Anmerkung: Der Fertigstellungsgrad wird in der Regel für das Bauwerk, die Geometrie, die Kostenermittlung oder die Terminplanung angegeben.“

*VDI 2552 (2021): VDI-Richtlinien: Building Information Modeling Begriffe – Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag.*

## **Form**

### **Eingabeform**

Eingabeform ist die Art und Weise, wie etwas gegenüber einem Medium vorhanden ist, wie etwas erscheint bzw. sich darstellt, bevor es in die Ausgabeform transformiert wird. Die Eingabeform ist nicht mit dem Herstellmedium gleichzusetzen.

### **Ausgabeform**

Die Ausgabeform einer Visualisierung definiert die Darstellungsweise (Erscheinung), wie eine Visualisierung ausgegeben wird.

z. B. Styrodur Modell, 3D-Druckmodell aus Kunststoff, digitale 3D-Animation, Videosimulation.

## ANHANG 2: Definition der Qualitätskriterien

### Form

Die Form bezieht sich auf die Art und Weise, wie die Visualisierung des Bauwerks konzipiert und präsentiert wird.

Dabei können Bauwerksvisualisierungen durch folgende Bewertungsaspekte beschrieben werden:

Analog / Digital

Immersiv / nicht immersiv

Geometrisch / alphanumerisch

### Medium

Das Medium kann als „Verständigungsmittel“ oder auch als „Transportmittel“ zwischen dem Sender und dem Empfänger definiert werden.

Ausgabemedium	Ein Ausgabemedium oder auch Ausgabegerät ist ein „technisches Gerät, das als (eine) Ausgabeeinheit eines Computers dient, d. h. durch die die verarbeiteten Daten nach außen ausgegeben werden können, z. B. Bildschirm, 3D-Drucker, Handy, Oculus-Brillen etc.
Eingabe- / Herstellmedium	Ein Herstellmedium ist ein Element (Träger), das Informationen, Daten oder Materialien verarbeitet, zusammenführt und transformiert. Zweck des Herstellmediums ist die Produktion bzw. Schöpfung von einem Gut, nicht die Präsentation bzw. Darstellung. (Visualisierungserstellungssoftware)
Benutzerfreundlichkeit	Usability steht für die Benutzerfreundlichkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit eines Produkts. Unter Benutzerfreundlichkeit versteht man die Qualität, mit der ein Benutzer mit einem Produkt/System interagieren kann. [...] „Usability ist das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Nutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ (ISO-Norm DIN EN ISO 9241, 11) <a href="#">Rahn, J. (2010) Usability und User Experience</a>
Kompatibilität	Eine Bauwerksvisualisierung sollte mit einer Vielzahl von Geräten und Plattformen kompatibel sein, um eine maximale Reichweite zu ermöglichen. Dabei stellt Kompatibilität v. a. die Möglichkeit dar, verschiedene Hardwarekomponenten (z. B. Geräte unterschiedlicher Hersteller) bzw. verschiedene Softwareprodukte zusammen oder aufeinander abgestimmt zu benutzen. <a href="https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kompatibilitaet-39149">https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kompatibilitaet-39149</a>
Auflösung	Es gibt zwei Möglichkeiten, die Auflösung eines optischen Systems zu beschreiben: Zum einen kann sie durch die Strahlgröße definiert werden, zum anderen durch den räumlichen Frequenzgang eines optischen Systems, der aus der Fourier-Transformation der Strahlintensitätsverteilung berechnet wird. Das Rayleigh-Kriterium kann auf die Definition der Auflösung angewandt und verallgemeinert werden, indem die Intensitätsverteilung

	<p>eines Strahls anstelle des Airy-Musters verwendet wird. Das Rayleigh-Kriterium wird aus dem Kontrast im Bild für benachbarte punktförmige Objekte bestimmt.</p> <p><a href="#">Handbook of Charged Particle Optics   Jon Orloff   Taylor &amp; Francis eB (taylorfrancis.com)</a></p>
--	--

## Darstellung

### Art der Darstellung

Unter Darstellung versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks.

Die Art der Darstellung setzt sich aus den folgenden Bewertungsskalen zusammen:

Statisch / dynamisch	<p>Eine statische Visualisierung ist eine Art der Visualisierung, bei der das Abgebildete keine Bewegung aufweist. Hierzu zählt beispielsweise das klassische 3D-Rendering.</p> <p>„Dynamische Visualisierung: Merkmale sind kontinuierlich manipulierbare Informationsstrukturen, Kontext und Fokustechniken sowie 2D-, 3D- und immersive Informationsdarstellungen.“</p> <p><a href="#">Ziegler, J.; Beinhauer, W. (2007): Interaktion mit komplexen Informationsräumen. München, Wien: Oldenbourg Verlag, S. 12.</a></p> <p>Dynamische Visualisierungen sind Darstellungsarten, die Bewegungen beinhalten, d. h. Videos, Animationen.</p>
Interaktiv / nicht interaktiv	<p>„Interaktive Visualisierungen sind Darstellungsarten, welche eine Interaktivität ermöglichen, d. h. beispielsweise Simulationen. Die bieten eine Eingriffsmöglichkeit für den Nutzer.“</p> <p><a href="#">DIN EN ISO 19650-1:2019-08 EN ISO 19650-1:2018 (D) (2019): Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Begriffe und Grundsätze. Berlin: Beuth-Verlag.</a></p>
Anpassbarkeit	<p>Die Anpassbarkeit eines Systems, also im betrachteten Fall einer Bauwerksvisualisierung, beschreibt die Fähigkeit zur [nachträglichen] Anpassung des Systems an verschiedene Anforderungen. Die Eigenschaft der Anpassbarkeit kann dabei sowohl die Möglichkeit zur Anpassung durch externe Personen als auch eine potenzielle Beinhaltung von Automatismen zur eigenständigen Anpassung an sich ändernde (Nutzer-)Anforderungen und Umstände umfassen.</p> <p><a href="#">Basierend auf Schrieverhoff, P.; de Neufville, R.; Lindemann, U.: Valuation of Product Adaptability in Architecture Design, S. 374.</a></p>

## Atmosphäre

Atmosphäre bezeichnet aus rezeptionstheoretischer Sicht eine subjektive Stimmung, die sozial und von der äußeren Umgebung vermittelt wird, oder eine objektive Eigenschaft einer Umgebung, die sich nicht allein auf einen einzelnen Gegenstand zurückführen lässt, sondern auf die Art der Zusammenstellung dieser Umgebung.

*Definition Atmosphäre Academic (o. J.) academic.com URL:  
<https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/109161> (Zugriff am 22.09.22)*

Szene	<p>Für die Autoren ist eine Szene die zentrale Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Verhaltensplanung. Innerhalb der Verhaltensplanung ist die Situation eine zentrale Schnittstelle. Ein Szenario wird oft zur funktionalen Beschreibung eines Systems oder zur Spezifikation von Testfällen verwendet.</p> <p><a href="#">std-01-ulbrich.pdf (uni-das.de)</a></p>
Nutzung Schatten und Licht	<p>„Die Lichtführung ist ein elementarer Teil einer Bildkomposition. Licht und Schatten definieren nicht nur die räumlichen Gegebenheiten, sondern sind auch Mittel zur Konzentrierung auf das Filmbild. Sie stehen für den Charakter des Bildes und der Hervorhebung einzelner Elemente.“</p> <p><a href="#">Sälzer, C. (2014): Der Schatten bestimmt das Licht. Die Entwicklung und Aktualität der Licht- und Schattendramaturgie im Film, S. 16.</a></p> <p>„Licht und Schatten spiel(t)en (in der Kunstmalerei) eine große Rolle, um Körper mit Hilfe von Schattierungen Volumen zu verleihen, dem Raum eine Größe und Tiefe zu geben (...).“</p> <p><a href="#">Sälzer, C. (2014): Der Schatten bestimmt das Licht. Die Entwicklung und Aktualität der Licht- und Schattendramaturgie im Film, S. 19.</a></p> <p>Basierend auf den Beschreibungen der Wirkung von Licht und Schatten im Bereich der Film- und Malerkunst kann das Verhältnis von Schatten und Licht für unseren Fall der Bauwerksvisualisierungen folgendermaßen zusammengefasst werden:  In der Bauwerksvisualisierung sind Licht und Schatten ebenfalls elementare Bestandteile. Sie dienen nicht nur der räumlichen Definition des Bauwerks, sondern sind auch entscheidend für die atmosphärische Wirkung und die Hervorhebung einzelner Elemente. Die gezielte Lichtführung kann dazu beitragen, die Architektur des Gebäudes zu betonen und die Aufmerksamkeit des Betrachters auf bestimmte Bereiche zu lenken.</p>
Komposition	<p>„Die Komposition in der Architektur bezeichnet den gestalterischen Prozess der Anordnung von Formen, Linien und Flächen, um ein harmonisches und ausgewogenes Ganzes zu schaffen.“ <a href="#">Pevsner, N. (2002): Lexikon der Architektur und Baukunst. Deutscher Taschenbuch Verlag.</a></p> <p>Eine gewisse Anordnung von Objekten sowie deren Zusammenspiel (Komposition) führt zu einer Inszenierung. Gleichzeitig löst die Inszenierung verschiedene Emotionen beim Betrachter aus, dies wird Emotionalisierung genannt. Auf Grundlage der Komposition können folglich die Inszenierung und Emotionalisierung objektiv bewertet werden.</p>

## Sachliche Richtigkeit

Der Wahrheitsgehalt gibt an, wie wahr eine Darstellung im Vergleich zur Realität oder zur späteren Ausführung ist. Der Grad der Realität ist hier mit dem Wahrheitsgehalt gleichzusetzen. Eine Visualisierung kann aufgrund von sachlichen Fehlern und Emotionalisierung nicht der Wahrheit/Realität entsprechen.

Die sachliche Richtigkeit und der Wahrheitsgehalt werden in einem Kriterium zusammengefasst und beinhalten folgende Unterpunkte:

Formgebung	<p>„Formgebung ist ein mehrdimensionaler, kreativer Prozess, der darauf abzielt, materielle Objekte zu schaffen, die eine spezifische Wirkung auf den Benutzer haben sollen. Sie umfasst sowohl die ästhetische Gestaltung als auch die technische Umsetzung und die Berücksichtigung von ergonomischen und funktionalen Aspekten.“</p> <p><a href="#">Löbach, Bernd (2014): Produktgestaltung: Aufgabe, Kriterien, Darstellungsmethodik. 7. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, S. 3.</a></p>
Farb- und Materialverwendung	<p>„Die Farb- und Materialverwendung beschreibt den Prozess der Gestaltung von Objekten und Räumen unter Berücksichtigung von Farbe und Material. Dabei geht es darum, eine harmonische und sinnvolle Verbindung von Farbe, Material und Funktion zu schaffen, die den Bedürfnissen und Erwartungen der Zielgruppe entspricht.“</p> <p><a href="#">Huber, Jochen (2016): Farbdesign: Theorie und Praxis. 2. Auflage. Stuttgart: Verlag Stahleisen, S. 18.</a></p>
Kontextualisierung	<p>Kontext bezieht sich bei einer Bauwerksvisualisierung auf alle Informationen, die verwendet werden können, um die Situation des betrachteten Bauwerks zu charakterisieren. Dabei können sowohl Informationen über das Bauwerk selbst als auch über seine Umgebung relevant sein. Ein System zur Bauwerksvisualisierung ist kontextualisiert, wenn es den Kontext nutzt, um dem Benutzer relevante Informationen und/oder Dienste bereitzustellen, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen des Betrachters abgestimmt sind. Die Relevanz von Informationen und Diensten hängt dabei von der beabsichtigten Nutzung der Bauwerksvisualisierung ab.</p> <p><a href="#">Basierend auf Dey, A. (2001): Understanding and Using Context, S. 5.</a></p>
Realitätsnahe Beleuchtungssituation	<p>„Um die Architektur so zu zeigen, wie Menschen sie sehen würden, muss die Geometrie der Szene durch Oberflächenqualitäten wie Farbe, Struktur und Glanz ergänzt und mit computergrafischen Methoden ins Licht gesetzt werden. Die computergrafischen Methoden, die hier zur Anwendung kommen, berechnen die Verteilung von Licht und Schatten im Raum, ferner Lichteffekte wie Strahlen, Reflexionen und Glanzpunkte.“</p> <p><a href="#">Noback, A. (2019): „Lichtsimulation in der digitalen Rekonstruktion historischer Architektur“.</a></p> <p>Aus „Nutzung Schatten und Licht“: Schattierung wird zusätzlich verwendet, um dem Bauwerk Volumen und Tiefe zu verleihen, um eine realistische Darstellung zu erreichen, und um das visuelle Erlebnis zu verstärken.</p>

### Sichtweise / Blickwinkel

Der Blickwinkel bezieht sich auf die Perspektive, die der Betrachter bei einer Visualisierung einnimmt.

Dieses Kriterium beinhaltet folgende Unterpunkte:

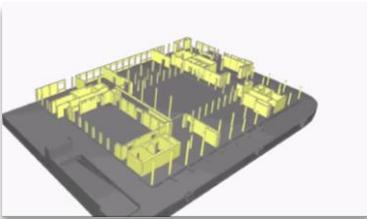
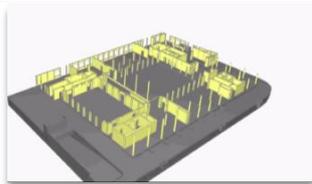
Intuitive Orientierung	<p>„Intuitive Orientierung beschreibt die Fähigkeit eines Nutzers, sich in einer neuen Umgebung oder Situation ohne explizite Anleitung oder Instruktionen zurechtzufinden. Diese Fähigkeit beruht auf einer Kombination aus individuellen Faktoren wie Erfahrung und Wissen sowie auf den Eigenschaften der Umgebung oder des Produkts, die eine natürliche Orientierung und Nutzung ermöglichen.“</p> <p><a href="#">Norman, Donald A. (2013): The Design of Everyday Things. Revised and expanded edition. New York: Basic Books, S. 30.</a></p>
Repräsentativität	<p>„Das Qualitätskriterium ‚Repräsentativität‘ besagt, dass eine Visualisierung typische und relevante Blickwinkel auf das Bauvorhaben einnehmen sollte. Typisch und relevant bedeutet, dass diese Blickwinkel diejenigen sind, die im Alltag besonders häufig eingenommen werden und/oder die von besonderer Bedeutung sind.“</p> <p><a href="#">Spieker, A.; Wenzel, G.; Brettschneider, F. (2021): Leitfaden für die Bürgerbeteiligung: Bauprojekte visualisieren, S. 36.</a></p>

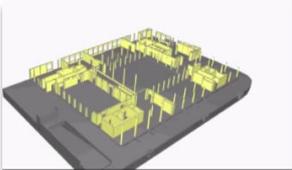
## Detailierung:

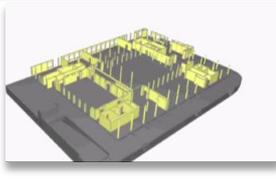
Die Kategorie „Detailierung“ bezieht sich auf die Menge und Art der Informationen, die in der Bauwerksvisualisierung dargestellt werden. Sie umfasst insbesondere die Kriterien des Detailierungsgrads und des Abstraktionsgrads.

<b>Detailierungsgrad</b>	<p>„Detailierungsgrad, Fertigstellungsgrad oder auch Informationsgrad sind Bezeichnungen, die den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen beschreiben. Im englischsprachigen Raum wird meist das Akronym LOD verwendet, das je nach Definition für Level of Detail, Level of Development oder Level of Definition steht. Um den Informationsgehalt getrennt nach geometrischen und alphanumerischen Modellinformationen zu beschreiben, werden in diesem Zusammenhang auch die Akronyme LOG (Level of Geometry) und LOI (Level of Information) benutzt. Im Folgenden wird LOD als Level of Detail in Bezug auf die Geometrie und LOI in Bezug auf die Alphanumerik verwendet.“</p> <p><a href="#">Was bedeutet LOD/LOI. (o.J.). Baunetzwissen. URL:  https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890Stachowiak1973 AllgemeineModelltheorie</a></p>
--------------------------	---

ANHANG 3: Spezifikation der Qualitätskriterien und Bewertungsskala

REALITÄTSGRAD		
<p><b>Formgebung:</b> „Formgebung bezeichnet einen mehrdimensionalen kreativen Prozess, der darauf abzielt, materielle Objekte zu schaffen, die eine spezifische Wirkung auf den Benutzer haben. Sie umfasst sowohl die ästhetische Gestaltung als auch die technische Umsetzung und die Berücksichtigung von ergonomischen und funktionalen Aspekten.“</p>		
R3	R2	R1
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% der echten Form des Objektes.	entspricht zu 50-75% der echten Form des Gebäudes.	entspricht zu weniger als 50% der echten Form des Gebäudes.
 <p>Rendering, Animationsfilm</p>	 <p>3D-Druck, AR</p>	 <p>Bauablaufsimulation, VR</p>
<p><b>Farb- und Materialwahl:</b> „Die Farb- und Materialverwendung beschreibt den Prozess der Gestaltung von Objekten und Räumen unter Berücksichtigung von Farbe und Material. Dabei geht es darum, eine harmonische und sinnvolle Verbindung von Farbe, Material und Funktion zu schaffen, die den Bedürfnissen und Erwartungen der Zielgruppe entspricht.“</p>		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% den echten Farben und Materialien des Objektes.	entspricht zu 50-75% den echten Farben und Materialien des Objektes.	entspricht zu weniger als 50% den echten Farben und Materialien des Objektes.
 <p>Rendering, Animationsfilm</p>	 <p>AR, VR</p>	 <p>3D-Druck, Bauablaufsimulation</p>
<p><b>Kontextualisierung:</b> Kontextualisierung bzw. Kontext bezieht sich bei einer Bauwerksvisualisierung auf alle Informationen, die verwendet werden können, um die Situation des betrachteten Bauwerks zu charakterisieren. Dabei können sowohl Informationen über das Bauwerk selbst als auch über seine Umgebung relevant sein. Ein System zur Bauwerksvisualisierung ist kontextualisiert, wenn es den Kontext nutzt, um dem Benutzer relevante Informationen und/oder Dienste bereitzustellen, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen des Betrachters abgestimmt sind. Die Relevanz von Informationen und Diensten hängt dabei von der beabsichtigten Nutzung der Bauwerksvisualisierung ab.</p>		
Realitätstreu	Realitätsnah	Symbolisch
entspricht zu 75-100% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	entspricht zu 50-75% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.	entspricht zu weniger als 50% dem echten Kontext und der echten Umgebung des Objektes.
 <p>Rendering, Animationsfilm</p>	 <p>AR, 3D-Druck</p>	 <p>VR, Bauablaufsimulation</p>

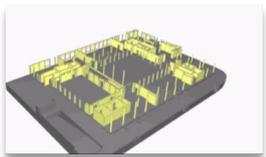
DETAILLIERUNGSGRAD		
<p><b>Detailierung:</b> „Detailierungsgrad, Fertigstellungsgrad oder auch Informationsgrad sind Bezeichnungen, die den Informationsgehalt von digitalen Bauwerksmodellen beschreiben. Im englischsprachigen Raum wird meist das Akronym LOD verwendet, das je nach Definition für Level of Detail, Level of Development oder Level of Definition steht.“</p>		
D3	D2	D1
Detailiert	vereinfacht	Symbolisch
75-100% der Details der Objekte sind sichtbar.	50-75% der Details der Objekte sind sichtbar.	weniger als 50% der Details der Objekte sind sichtbar.
Rendering, Animationsfilm 	Bauablaufsimulation, VR 	3D-Druck, AR 

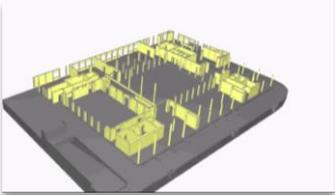
BENUTZERFREUNDLICHKEIT		
<p>Unter Benutzerfreundlichkeit versteht man die Qualität, mit der ein Benutzer mit einem Produkt/System interagieren kann. Benutzerfreundlichkeit ist definiert als das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Nutzer in einem Nutzungskontext verwendet werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ (ISO-Norm DIN EN ISO 9241, 11)</p>		
B3	B2	B1
Hoch	Mittel	Gering
bedeutet, dass der Nutzer volle Kontrolle über die Bauwerksvisualisierung erlangen kann (Orientierung, Ablaufgeschwindigkeit, Freiheit in der Bewegung, ...).	bedeutet, dass der Nutzer teilweise Einschränkungen in der Kontrolle über die Bauwerksvisualisierung erfahren kann (Orientierung, Ablaufgeschwindigkeit, Freiheit in der Bewegung, ...).	bedeutet, dass der Nutzer keine Kontrolle über die Bauwerksvisualisierung erlangen kann (fixe Orientierung, feste Ablaufgeschwindigkeit, keine Freiheit in der Bewegung, ...).
 VR, Animationsfilm	 Rendering, 3D-Druck	 Bauablaufsimulation, AR

AUFLÖSUNG		
<p>Es gibt zwei Möglichkeiten, die Auflösung eines optischen Systems zu beschreiben: Zum einen kann sie durch die Strahlgröße definiert werden, zum anderen durch den räumlichen Frequenzgang eines optischen Systems, der aus der Fourier-Transformation der Strahlintensitätsverteilung berechnet wird. Das Rayleigh-Kriterium kann auf die Definition der Auflösung angewandt und verallgemeinert werden, indem die Intensitätsverteilung eines Strahls anstelle des Airy-Musters verwendet wird. Das Rayleigh-Kriterium wird aus dem Kontrast im Bild für benachbarte punktförmige Objekte bestimmt. Die Auflösung wird in DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) ausgedrückt.</p>		
A3	A2	A1
Hoch	Mittel	Gering
entspricht ein DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) von 200-300 DPI.	entspricht ein DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) von 100-200 DPI.	entspricht ein DPI (Dots per Inch) oder PPI (Pixel pro Zoll) von weniger als 100 DPI.

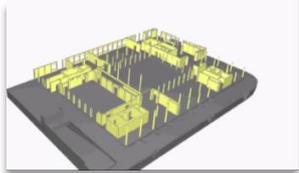
<p>Rendering, Animationsfilm</p> 	<p>3D-Druck, VR</p> 	<p>Baublaufsimulation, AR</p> 
--	---	---

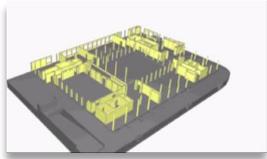
<p style="text-align: center;"><b>ATMOSPHÄRE</b></p>		
<p><b>Szene:</b> Eine Szene ist innerhalb des Forschungsprojekts definiert als die zentrale Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Verhaltensplanung. Innerhalb der Verhaltensplanung ist die Situation eine zentrale Schnittstelle. Ein Szenario wird oft zur funktionalen Beschreibung eines Systems oder zur Spezifikation von Testfällen verwendet.</p>		
<p>AT3 Hoch</p>	<p>AT2 Mittel</p>	<p>AT1 Gering</p>
<p>Realismus und Detailgrad sind herausragend. Die Szene wirkt äußerst realistisch, und feinste Details sind sorgfältig ausgearbeitet. Die Texturen und Beleuchtungseffekte sind beeindruckend. (75-100% Realismus)</p>	<p>Realismus und Detailgrad sind akzeptabel. Die Szene ist realistisch genug, um verstanden zu werden, aber es gibt noch Raum für mehr Details und Feinabstimmung. Die Texturen und Beleuchtung sind angemessen. (50-75% Realismus)</p>	<p>Realismus ist unzureichend, und es fehlt an Details. Die Szene wirkt grob und abstrakt. Es mangelt an realistischen Texturen und Beleuchtungseffekten. (Weniger als 50% Realismus)</p>
<p>AR, VR</p> 	<p>Animationsfilm, Rendering</p> 	<p>3D-Druck, Bauablaufsimulation</p> 
<p><b>Nutzung Licht und Schatten:</b> In der Bauwerksvisualisierung sind Licht und Schatten ebenfalls elementare Bestandteile. Sie dienen nicht nur der räumlichen Definition des Bauwerks, sondern sind auch entscheidend für die atmosphärische Wirkung und die Hervorhebung einzelner Elemente. Die gezielte Lichtführung kann dazu beitragen, die Architektur des Gebäudes zu betonen und die Aufmerksamkeit des Betrachters auf bestimmte Bereiche zu lenken.</p>		
<p>Hoch</p>	<p>Mittel</p>	<p>Gering</p>
<p>Licht- und Schatteneffekte sind hervorragend. Sie schaffen eine realistische Räumlichkeit und Tiefe in der Szene. Die wesentlichen Elemente der Szene werden betont. Schatten und Beleuchtung sind harmonisch aufeinander abgestimmt und tragen wesentlich zur visuellen Wirkung bei.</p>	<p>Licht- und Schatteneffekte sind durchschnittlich. Einige wichtige Elemente, aber nicht alle, werden betont. Die Hervorhebung könnte in einigen Bereichen verstärkt werden. Sie verleihen der Szene eine gewisse Räumlichkeit und visuelle Tiefe. Es gibt Raum für Verbesserungen in der Variation und Intensität der Effekte.</p>	<p>Licht- und Schatteneffekte sind minimal oder unzureichend. Die wichtigen Elemente der Szene werden nicht betont. Wichtige Details gehen verloren oder werden nicht effektiv hervorgehoben. Die Szene wirkt flach und leblos, ohne räumliche Tiefe. Schatten und Beleuchtung tragen nicht zur visuellen Wirkung bei.</p>
<p>Rendering, Animationsfilm</p> 	<p>AR, VR</p> 	<p>3D-Druck, Bauablaufsimulation</p> 
<p><b>Komposition:</b> „Die Komposition in der Architektur bezeichnet den gestalterischen Prozess der Anordnung von Formen, Linien und Flächen, um ein harmonisches und ausgewogenes Ganzes zu schaffen.“</p>		

Ansprechend	Teilweise ansprechend	Nicht ansprechend
Bildkomposition und Gestaltung sind exzellent. Die Szene ist gut strukturiert, und die wichtigen Elemente werden hervorgehoben. Die Anordnung ist kreativ und visuell ansprechend.	Bildkomposition und Gestaltung sind durchschnittlich. Die wichtigen Elemente sind erkennbar, aber es gibt Raum für Verbesserungen. Die Anordnung ist solide, aber es fehlt an kreativer Originalität.	Bildkomposition und Gestaltung weisen Mängel auf. Die Szene ist unübersichtlich, und die wichtigen Elemente sind nicht klar erkennbar. Die Anordnung der Elemente wirkt ungeordnet, und es fehlt an visuellem Fokus.
Rendering, Animationsfilm 	AR, 3D-Druck 	VR, Bauablaufsimulation 

SICHTWEISE		
<b>Intuitive Orientierung:</b> „Intuitive Orientierung beschreibt die Fähigkeit eines Nutzers, sich in einer neuen Umgebung oder Situation ohne explizite Anleitung oder Instruktionen zurechtzufinden. Diese Fähigkeit beruht auf einer Kombination aus individuellen Faktoren wie Erfahrung und Wissen sowie auf den Eigenschaften der Umgebung oder des Produkts, die eine natürliche Orientierung und Nutzung ermöglichen.“		
S3	S2	S1
Leicht	Mittel	Schwer
Der Nutzer kann sich ohne Einarbeitung in der Bauwerksvisualisierung orientieren.	Der Nutzer benötigt eine kurze Einweisung, um die Bauwerksvisualisierung bedienen zu können.	Der Nutzer braucht eine intensive Einarbeitung, bevor er in der Lage ist, die Bauwerksvisualisierung bedienen zu können.
3D-Druck, Rendering 	Animationsfilm, Bauablaufsimulation 	VR, AR 

KOMPATIBILITÄT		
Eine Bauwerksvisualisierung sollte mit einer Vielzahl von Geräten und Plattformen kompatibel sein, um eine maximale Reichweite zu ermöglichen. Dabei stellt Kompatibilität v. a. die Möglichkeit dar, verschiedene Hardwarekomponenten (z. B. Geräte unterschiedlicher Hersteller) bzw. verschiedene Softwareprodukte zusammen oder aufeinander abgestimmt zu benutzen.		
K3	K2	K1
Hoch	Mittel	Gering

<p>Die Bauwerksvisualisierung kann ohne oder mit wenigem Aufwand über andere Medien übertragen und betrachtet werden.</p>	<p>Die Bauwerksvisualisierung kann mit mittlerem Aufwand über andere Medien übertragen und betrachtet werden.</p>	<p>Die Bauwerksvisualisierung kann mit sehr hohem Aufwand oder gar nicht über andere Medien übertragen und betrachtet werden.</p>
<p>VR, Animationsfilm</p> 	<p>Bauablaufsimulation, Rendering</p> 	<p>3D-Druck, AR</p> 

DARSTELLUNGSFORM		
<p><b>Art der Darstellung:</b> Unter Darstellung versteht man die Gestaltung oder Umsetzung von Ergebnissen, Sachverhalten oder Konzepten (konkret oder abstrakt) durch Modelle, Zeichen oder performative Handlungen. In dem Projekt geht es um die manuelle oder digitale Abbildung eines Bauwerks.</p>		
K3	K2	K1
Interaktiv	Dynamisch	Statisch
<p>Der Nutzer kann in der Bauwerksvisualisierung mit dem Objekt interagieren und mitgestalten.</p>	<p>Die Bauwerksvisualisierung ermöglicht Bewegung und die Veränderung von Positionen und Geschwindigkeiten im Laufe der Zeit.</p>	<p>Die Visualisierung ist fix und weist keine Bewegung über die Zeit.</p>
<p>AR, VR</p> 	<p>Animationsfilm, Bauablaufsimulation</p> 	<p>3D-Druck, Rendering</p> 

## ANHANG 4: LoV-Matrix für priorisierte BIM-Anwendungsfälle

AWF 020 – Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				realitätsnah		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch			
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	

Detaillierung	Detaillierungs-grad	schwer				schwer		1	2
		detailliert				detailliert		5	
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunktzahl			
						Erreichter LoV			

AWF 020 – Fotomontage

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah						3	
		symbolisch						1	
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah						1	
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1		
	realitätsnah								
	symbolisch								
Sichtweise		leicht				leicht		5	2

	intuitive Orientierung	mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detail- lierung	Detaillierungs-grad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
							Gesamtpunktzahl		
							Erreichter LoV		

AWF 030 – Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzer-freund-lichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompati-bilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmos-phäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering						1	
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							
Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextuali-sierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							

Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungs-grad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
Gesamtpunktzahl									
Erreichter LoV									

AWF 030 – Fotomontage

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzer-freundlich-keit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompati-bilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmos-phäre	Szene	Hoch				Hoch		5	2
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch							
		Mittel				Mittel		3	
		Gering							
Komposition	Ansprechend								
	Teilweise ansprechend				Gering		1		
	nicht ansprechend								
Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu							1
		realitätsnah				realitätstreu		5	
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu							
		realitätsnah				realitätsnah		3	
		symbolisch							
	Kontextuali-sierung	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu							
realitätsnah					symbolisch		1		

		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungs-grad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
Gesamtpunktzahl									
Erreichter LoV									

AWF 030 – Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzer-freundlich-keit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompati-bilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmos-phäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextuali-sierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
		realitätstreu							

	Beleuchtungssituation	realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
Gesamtpunktzahl									
Erreichter LoV									

AWF 050 - Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							

	Beleuchtungssituation	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
							Gesamtpunktzahl		
							Erreichter LoV		

AWF 050 - Animationsfilm

Kategorien	Unterkategorien	Bewertungsskala	Bewertung	Zwischenscore	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Likert-Skala	Gewichtungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch							
		Mittel				Mittel		3	
		Gering							
Komposition	Ansprechend								
	Teilweise ansprechend					Gering		1	
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu							2
		realitätsnah				realitätstreu		5	
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch				realitätsnah		3	
Kontextualisierung	realitätstreu								
	realitätsnah								

	Beleuchtungssituation	symbolisch				symbolisch		1	
		realitätstreu							
		realitätsnah							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
Gesamtpunktzahl									
Erreichter LoV									

AWF 050 - Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel						3	
		Gering						1	
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel						1	
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Kontextualisierung	realitätstreu								

		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
<b>Gesamtpunktzahl</b>									
<b>Erreichter LoV</b>									

AWF 060 – AR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	2
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
	symbolisch								

	Kontextualisierung	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch						1	
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detaillierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
								Gesamtpunktzahl	
								Erreichter LoV	

AWF 060 - Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor	
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel				Mittel		3		
		Gering				Gering		1		
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel				Mittel		3		
		Gering				Gering		1		
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel				Mittel		3		
		Gering				Gering		1		
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1	
		Mittel								
		Gering								
	Schatten/Licht	Hoch								
		Mittel					Mittel			3
		Gering								
Komposition	Ansprechend									
	Teilweise ansprechend					Gering		1		
	nicht ansprechend									
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2	
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu								
		realitätsnah					realitätsnah			3

	Kontextualisierung	symbolisch				symbolisch	1	2
		realitätstreu						
		realitätsnah						
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch	1	2
		realitätsnah						
		symbolisch						
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht	5	2
		mittel				mittel	3	
		schwer				schwer	1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert	5	2
		vereinfacht				vereinfacht	3	
		symbolisch				symbolisch	1	
						Gesamtpunktzahl		
						Erreichter LoV		

AWF 090 – Rendering

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu							

	Kontextualisierung	realitätsnah				realitätsnah	3	2
		symbolisch						
		realitätstreu						
	Beleuchtungssituation	realitätsnah				symbolisch	1	
		symbolisch						
		realitätstreu						
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht	5	
		mittel				mittel	3	
		schwer				schwer	1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert	5	2
		vereinfacht				vereinfacht	3	
		symbolisch				symbolisch	1	
						Gesamtpunktzahl		
						Erreichter LoV		

AWF 090 – Fotomontage

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	1
		realitätsnah							
		symbolisch							

	Farb-/Materialwahl	realitätstreu			realitätsnah	3	
		realitätsnah					
		symbolisch					
	Kontextualisierung	realitätstreu			symbolisch	1	
		realitätsnah					
		symbolisch					
	Beleuchtungssituation	realitätstreu			leicht	5	
		realitätsnah					
		symbolisch					
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht			mittel	3	2
		mittel			schwer	1	
		schwer					
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert			detailliert	5	2
		vereinfacht			vereinfacht	3	
		symbolisch			symbolisch	1	
					Gesamtpunktzahl		
					Erreichter LoV		

AWF 120 – Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
Komposition	Ansprechend				Gering		1		
	Teilweise ansprechend								
	nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							

	Farb-/Materialwahl	symbolisch				realitätsnah	3		
		realitätstreu							
		realitätsnah							
	Kontextualisierung	symbolisch				symbolisch	1		
		realitätstreu							
		realitätsnah							
	Beleuchtungssituation	symbolisch				leicht	5		2
		realitätstreu							
		realitätsnah							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				mittel	3	2	
		mittel							
		schwer							
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				schwer	1	2	
		vereinfacht							
		symbolisch							
						Gesamtpunktzahl			
						Erreichter LoV			

AWF 120 – Bauablaufsimulation

Kategorien	Unterkategorien	Bewertungsskala	Bewertung	Zwischenscore	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Likert-Skala	Gewichtungsfaktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							
Formgebung		realitätstreu				realitätstreu		5	1

Realitätsgrad		realitätsnah				realitätsnah	3	
		symbolisch						
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah	3	
		realitätsnah						
		symbolisch						
		symbolisch						
	Kontextualisierung	realitätstreu				realitätsnah	3	
		realitätsnah						
		symbolisch						
		symbolisch						
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch	1	
		realitätsnah						
symbolisch								
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht	5	2
		mittel				mittel	3	
		schwer				schwer	1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert	5	2
		vereinfacht				vereinfacht	3	
		symbolisch				symbolisch	1	
Gesamtpunktzahl								
Erreichter LoV								

AWF 130 – AR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							

Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu	5	2
		realitätsnah						
		symbolisch						
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah	3	
		realitätsnah						
		symbolisch						
	Kontextuali-sierung	realitätstreu				symbolisch	1	
		realitätsnah						
		symbolisch						
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu				leicht	5	
		realitätsnah						
		symbolisch						
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				mittel	3	1
		mittel						
		schwer						
Detail-lierung	Detaillierungs-grad	detailliert				detailliert	5	2
		vereinfacht						
		symbolisch						
						Gesamt-punktzahl		
						Erreichter LoV		

AWF 130 – Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzer-freundlich-keit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompati-bilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmos-phäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							

		nicht ansprechend							
Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextuali-sierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detail-lierung	Detaillierungs-grad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamt-punktzahl			
						Erreichter LoV			

AWF 130 – VR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzer-freundlich-keit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompati-bilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmos-phäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							
	Komposition	Ansprechend				Gering		1	

		Teilweise ansprechend								
		nicht ansprechend								
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2	
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3		
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1		
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Beleuchtungssituation	realitätstreu								
		realitätsnah								
		symbolisch								
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1	
		mittel				mittel		3		
		schwer				schwer		1		
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2	
		vereinfacht				vereinfacht		3		
		symbolisch				symbolisch		1		
						Gesamtpunktzahl				
						Erreichter LoV				

AWF 140 - AR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							
		Gering							

	Komposition	Ansprechend				Gering		1	
		Teilweise ansprechend							
		nicht ansprechend							
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	1
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
Gesamtpunktzahl									
Erreichter LoV									

AWF 140 – Animationsfilm

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-t-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	
		Mittel							

	Komposition	Gering							
		Ansprechend							
		Teilweise ansprechend						1	
		nicht ansprechend							
Realitätsgrad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu				realitätsnah		3	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextualisierung	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungssituation	realitätstreu				symbolisch		1	
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2
		mittel				mittel		3	
		schwer				schwer		1	
Detailierung	Detailierungsgrad	detailliert				detailliert		5	2
		vereinfacht				vereinfacht		3	
		symbolisch				symbolisch		1	
						Gesamtpunktzahl			
						Erreichter LoV			

AWF 140 - VR

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewertung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischenscore	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzerfreundlichkeit		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompatibilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	2
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmosphäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							
	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	

	Komposition	Mittel							
		Gering							
		Ansprechend							
		Teilweise ansprechend							
Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Kontextuali-sierung	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu							
		realitätsnah							
		symbolisch							
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht							
		mittel							
		schwer							
Detail-lierung	Detailierungs-grad	detailliert							
		vereinfacht							
		symbolisch							
							Gesamt-punktzahl		
							Erreichter LoV		

AWF 140 – Bauablaufsimulation

Kategorien	Unter-kategorien	Bewertungs-skala	Bewer-tung	Zwischen-score	Kumulierter Zwischen-score	Kumulierte Skalen	Kumulierte Bewertung	Liker-Skala	Gewichtungs-faktor
Benutzer-freundlich-keit		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Kompati-bilität		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Auflösung		Hoch				Hoch		5	1
		Mittel				Mittel		3	
		Gering				Gering		1	
Atmos-phäre	Szene	Hoch				Hoch		5	1
		Mittel							
		Gering							

Realitäts-grad	Schatten/Licht	Hoch				Mittel		3	2	
		Mittel								
		Gering								
	Komposition	Ansprechend					Gering			1
		Teilweise ansprechend								
		nicht ansprechend								
Realitäts-grad	Formgebung	realitätstreu				realitätstreu		5	2	
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Farb-/Materialwahl	realitätstreu					realitätsnah			3
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Kontextuali-sierung	realitätstreu								
		realitätsnah								
		symbolisch								
	Beleuchtungs-situation	realitätstreu					symbolisch			1
		realitätsnah								
		symbolisch								
Sichtweise	intuitive Orientierung	leicht				leicht		5	2	
		mittel				mittel		3		
		schwer				schwer		1		
Detail-lierung	Detailierungs-grad	detailliert				detailliert		5	2	
		vereinfacht				vereinfacht		3		
		symbolisch				symbolisch		1		
						Gesamt-punktzahl				
						Erreichter LoV				

## Literatur

### Literaturverzeichnis

.

BauNetz (2023): Bauablaufsimulation | Integrales Planen | Glossar | Baunetz\_Wissen. BauNetz. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/glossar/b/bauablaufsimulation-7502284>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2023, zuletzt geprüft am 10.11.2023.

BMDV: Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Online verfügbar unter [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile).

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Hg.) (2021): Building information modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden. 2., aktualisierte Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch).

Brettschneider, Frank; Spieker, Arne (2017): Bauprojekte Visualisieren. Leitfaden für die Bürgerbeteiligung. 86. Aufl. Hg. v. Baden-Württemberg Stiftung gGmbH. Stuttgart: Baden-Württemberg Stiftung. Online verfügbar unter [https://www.bwstiftung.de/fileadmin/bwstiftung/Publikationen/Forschung/Forschung\\_Bauprojekte\\_Visualisieren\\_Nr\\_86.pdf](https://www.bwstiftung.de/fileadmin/bwstiftung/Publikationen/Forschung/Forschung_Bauprojekte_Visualisieren_Nr_86.pdf), zuletzt geprüft am 28.06.2023.

Busch, Werner (2004): Funktionen der Handzeichnung bei\_ Carstens Friedrich und Schnorr von Carolsfeld. In: Festgabe für Marianne Küffner, S. 1–23.

Davila Delgado, Juan Manuel; Oyedele, Lukumon; Demian, Peter; Beach, Thomas (2020): A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction, zuletzt geprüft am 10.11.2023.

Fastermann, Petra (2014): 3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (Technik im Fokus Daten Fakten Hintergründe).

Han, Sang Hyeok; Al-Hussein, Mohamed; Al-Jibouri, Saad; Yu, Haitao (2012): Automated post-simulation visualization of modular building production assembly line. In: *Automation in Construction* 21, S. 229–236. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.06.007.

Jung, Timothy; tom Dieck, M. Claudia; Rauschnabel, Philipp A. (Hg.) (2020): Augmented Reality and Virtual Reality. Cham: Springer International Publishing.

Kelter, Udo (2003): Anwendungsfälle und Anwendungsfalldiagramme. Online verfügbar unter [https://kltr.de/lehre/lm/lm\\_afd\\_skript.a5.pdf](https://kltr.de/lehre/lm/lm_afd_skript.a5.pdf), zuletzt aktualisiert am 31.07.2022, zuletzt geprüft am 10.11.2023.

Ma, Dengzhe; Gausemeier, Jürgen; Fan, Xiumin; Grafe, Michael (2023): Virtual Reality & Augmented Reality in Industry. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-17376-9.pdf>, zuletzt geprüft am 10.11.2023.

Rohani, Mohammad; Fan, Mizi; Yu, Chuck (2014): Advanced visualization and simulation techniques for modern construction management. In: *Indoor and Built Environment* 23 (5), S. 665–674. DOI: 10.1177/1420326X13498400.

Schildwächter, Ralph; Zeile, Peter (Hg.) (2008): Echtzeitvisualisierung in städtebaulichen Entscheidungsprozessen. Verein CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning; REAL CORP. Schwechat-Rannersdorf: CORP Competence Center of Urban and Regional Planning, zuletzt geprüft am 10.11.2023.

Schranz, Ch.; Gerger, A.; Urban, H. (2020): Augmented Reality im Bauwesen. Teil 1 - Anwendungs- und Anforderungsanalyse. In: [www.bauingenieur.de](http://www.bauingenieur.de), S. 379–388. Online verfügbar unter [https://web.archive.org/web/20220704135749id\\_/https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/20428/1/Schranz-2020-Bauingenieur-vor.pdf](https://web.archive.org/web/20220704135749id_/https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/20428/1/Schranz-2020-Bauingenieur-vor.pdf), zuletzt geprüft am 10.11.2023.

Stachowiak (1973): Allgemeine Modelltheorie, zuletzt aktualisiert am 08.08.2013, zuletzt geprüft am 27.10.2022.

Taylor & Francis (2022): Impact of data visualization on decision-making and its implications for public health practice: a systematic literature review, zuletzt aktualisiert am 14.12.2022, zuletzt geprüft am 14.12.2022.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2021): VDI-MT 7001. Communication and public participation in construction and infrastructure projects, zuletzt geprüft am 07.07.2023.

## Literaturverzeichnis

### Publication Bibliography

Aignera, Wolfgang; Miksch, Silvia; Müller, Wolfgang; Schumann, Heidrun; Tominskie, Christian (2013): Visualizing time-oriented data. A systematic view. Available online at [https://www.cs.kent.edu/~xchang/public\\_bak/paper/1-s2.0-S0097849307000611-main.pdf](https://www.cs.kent.edu/~xchang/public_bak/paper/1-s2.0-S0097849307000611-main.pdf), checked on 6/25/2023.

Atteslander, Peter (2010): Methoden der empirischen Sozialforschung. 13.<sup>th</sup> ed. ((3)): Erich Ss Schmidt, checked on 2/16/2024.

BauNetz (2023): Bauablaufsimulation | Integrales Planen | Glossar | Baunetz\_Wissen. BauNetz. Available online at <https://www.baunetzwissen.de/glossar/b/bauablaufsimulation-7502284>, updated on 11/10/2023, checked on 11/10/2023.

BIM Deutschland (2022): Standard-Anwendungsfälle. ((4)) MUSTERSTECKBRIEF, NOMENKLATUR UND HARMONISIERTE LISTE DER ANWENDUNGSFÄLLE, checked on 11/10/2023.

Borrmann, André; König, Markus; Koch, Christian; Beetz, Jakob (Eds.) (2021): Building information modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden. 2., aktualisierte Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch).

Brettschneider, Frank; Spieker, Arne (2017): Bauprojekte visualisieren. Leitfaden für die Bürgerbeteiligung. 86<sup>th</sup> ed. Edited by Baden-Württemberg Stiftung gGmbH. Stuttgart: Baden-Württemberg Stiftung. Available online at [https://www.bwstiftung.de/fileadmin/bwstiftung/Publikationen/Forschung/Forschung\\_Bauprojekte\\_Visualisieren\\_Nr\\_86.pdf](https://www.bwstiftung.de/fileadmin/bwstiftung/Publikationen/Forschung/Forschung_Bauprojekte_Visualisieren_Nr_86.pdf), checked on 6/28/2023. Brill, Manfred (2009): Virtuelle Realität. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (SpringerLink Bücher).

Creswell, John W. (1999): Mixed-Method Research: Introduction and Application. In *ACADEMIC PRESS*. ((2))

Davila Delgado, Juan Manuel; Oyedele, Lukumon; Demian, Peter; Beach, Thomas (2020): A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction, checked on 11/10/2023.

Dörner, Ralf; Jung, Bernhard; Grimm, Paul; Broll, Wolfgang; Göbel, Martin (2019): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. 2. Auflage: Springer Vieweg. Available online at <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58861-1>.

Duke, D. J.; Brodlie, K. W.; Duce, D. A. (2004): Building an Ontology of Visualization. In Holly Rushmeier (Ed.): IEEE Visualization 2004. Austin, Texas, October 10 - 15, 2004; VIS 2004; [IEEE Visualization Conference]; proceedings. IEEE Visualization 2004. Austin, TX, USA, 10-15 Oct. 2004. IEEE Computer Society; Association for Computing Machinery; Visualization Conference. Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, 7p-7p, checked on 11/11/2023.

Fastermann, Petra (2014): 3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (Technik im Fokus Daten Fakten Hintergründe).

Gebhardt, Johannes Nicolas (2019): Methodische Entwicklung von Visualisierungen als Arbeitswerkzeuge in der Produktentwicklung: Springer Verlag. Available online at <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-61622-2.pdf?pdf=button>.

Hausknecht, Kerstin; Liebich, Thomas (2016): BIM-Kompendium. Building Information Modeling als neue Planungsmethode. 1. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Available online at <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783816794905>.

Heer, Jeffrey; Bostock, Michael (2010): Crowdsourcing Graphical Perception: Using Mechanical Turk to Assess Visualization Design. Computer Science Department Stanford University. Atlanta. Available online at <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1753326.1753357>, updated on 6/25/2023, checked on 6/25/2023.

Kelter, Udo (2003): Anwendungsfälle und Anwendungsfalldiagramme. Available online at [https://kltr.de/lehre/lm/lm\\_afd\\_skript.a5.pdf](https://kltr.de/lehre/lm/lm_afd_skript.a5.pdf), updated on 7/31/2022, checked on 11/10/2023.

Kerren, Andreas; Stasko, John T.; Fekete, Jean-Daniel; North, Chris (2008): Information Visualization. Human-Centered Issues and Perspectives. (((1)))

Locher, Hubert; Lengyel, Dominik; Henrich, Florian; Toulouse, Catherine (2023): Architecture Transformed. - Das digitale Bild in der Architektur 1980-2020. Available online at <https://doi.org/10.11588/arthistoricum.1156.c15952>.

Ma, Dengzhe; Gausemeier, Jürgen; Fan, Xiumin; Grafe, Michael (2023): Virtual Reality & Augmented Reality in Industry. Available online at <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-17376-9.pdf>, checked on 11/10/2023.

Migiro, S. O.; Magangi, B. A (2011): Mixed methods: A review of literature and the future of the new research paradigm, checked on 12/1/2023.

Paetsch, Frauke; Eberlein, Dr. Armin; Maurer, Dr. Frank (Ed.) (2003): Requirements Engineering and Agile Software Development, checked on 2/15/2024.

Rademacher, Martin (2014): Virtual reality in der Produktentwicklung. Instrumentarium zur Bewertung der Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Automobilindustrie. Zugl.: Ilmenau, Techn. Univ., Diss., 2014. Wiesbaden: Springer Vieweg (Schriften zur Medienproduktion).

Recro | Blog (2019): Display Technologies For Virtual & Augmented Reality | Recro. Available online at <https://recro.io/blog/virtual-reality-and-augmented-reality/>, updated on 10/14/2022, checked on 1/31/2024.

Rød, Jan Ketil (1997): The third choice. In *cybergeogeo*. DOI: 10.4000/cybergeogeo.1625.

Scherer, Raimar J.; Schapke, Sven-Eric (2014): Informationssysteme im Bauwesen 1. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Schildwächter, Ralph; Zeile, Peter (Ed.) (2008): Echtzeitvisualisierung in städtebaulichen Entscheidungsprozessen. Verein CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning; REAL CORP. Schwechat-Rannersdorf: CORP Competence Center of Urban and Regional Planning, checked on 11/10/2023. Schranz, Ch.; Gerger, A.; Urban, H. (2020): Augmented Reality im Bauwesen. Teil 1 - Anwendungs und Anforderungsanalyse. In *www.bauingenieur.de*, pp. 379–388. Available online at [https://web.archive.org/web/20220704135749id\\_/https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/20428/1/Schranz-2020-Bauingenieur-vor.pdf](https://web.archive.org/web/20220704135749id_/https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/20428/1/Schranz-2020-Bauingenieur-vor.pdf), checked on 11/10/2023.

Stachowiak, Herbert (1973): Allgemeine Modelltheorie, updated on 8/8/2013, checked on 10/27/2022.

Stemmer, Boris; Münderlein, Daniel; Bruns, Diedrich; Theile, Simone (2021): Perspektiven der Visuellen Kommunikation in der räumlichen Planung. In: Diedrich Bruns, Boris Stemmer, Daniel Münderlein, Simone Theile (Eds.): Handbuch Methoden visueller Kommunikation in der räumlichen Planung. Wiesbaden, Heidelberg: Springer VS (Handbuch), pp. 371–383, checked on 4/2/2024.

Stevens, S. S. (1946): On the Theory of Scales of Measurement. In *Science (New York, N.Y.)* 103 (2684), pp. 677–680. DOI: 10.1126/science.103.2684.677.

Taylor & Francis ((5)) (2022): Impact of data visualization on decision-making and its implications for public health practice: a systematic literature review, updated on 12/14/2022, checked on 12/14/2022.

Tayyebi, Seyed Farhad; Demir, Yüksel (2019): Architectural Composition: A Systematic Method to Define a List of Visual Attributes. In *ADR 07 (03)*, pp. 131–144. DOI: 10.4236/ad.2019.73012.

Verein Deutscher Ingenieure (2021): VDI-MT 7001. Communication and public participation in construction and infrastructure projects, checked on 7/7/2023.

.