



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK

**Aus dem Institut für Multimediale und Interaktive Systeme
der Universität zu Lübeck
Direktorin: Prof. Dr. Nicole Jochems**

**Augmented Reality-Authoring als Werkzeug
zur dynamischen Ausstellungsentwicklung
für Museen**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck

Aus der Sektion Informatik / Technik

vorgelegt von
Alexander Ohlei
aus Schmallenberg
Lübeck, 2023

1. Berichterstatter/Berichterstatterin:

Prof. Dr. Michael Herczeg

2. Berichterstatter/Berichterstatterin:

Prof. Dr. Eva Hornecker

Tag der mündlichen Prüfung:

01. September 2023

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 04. September 2023

Kurzfassung

Diese Arbeit setzt sich mit der Ausarbeitung von einem Autorensystem auseinander, mit dem physische Museumsausstellungen mittels Augmented Reality (AR) digital angereichert werden können. Dazu wurde ein prototypisches AR-System entwickelt und mit mehreren Museen in Lübeck in verschiedenen Entwicklungsstufen evaluiert. Ziel des Einsatzes der AR-Technologie ist, dass das physische Originalexponat in der Ausstellung weiterhin zentral im Fokus der Betrachtung steht, es jedoch zusätzlich mit weiteren digitalen Informationsebenen überlagert werden kann. Diese Informationsebenen können dabei auf die Vorkenntnisse, Interessen, die Sprache und das Alter der Besucher:innen angepasst werden. Ein wichtiger Aspekt des Konzeptes ist es, dass alle virtuellen Inhalte dynamisch in Echtzeit verändert werden können, um eine fortlaufende Erweiterung und Umgestaltung der digitalen AR-Inhalte zu ermöglichen. Eine weitere zentrale Eigenschaft des Systemkonzeptes ist, dass die Gestaltung und Platzierung der virtuellen AR-Inhalte von Museumsmitarbeiter:innen (Kurator:innen) selbstständig durchgeführt werden können. Dadurch wird allen Museen die Möglichkeit eröffnet, diese Technologie unterstützend einzusetzen. In den Fällen, in denen Museen mit Agenturen zusammenarbeiten, können die Arbeiten aber auch von diesen übernommen werden. Ergänzend zu dem Autorensystem wurde ein Analytics System konzipiert und prototypisch entwickelt, welches Kurator:innen ein Evaluationswerkzeug bietet, mit dem sie ein vertieftes Verständnis über die Mediennutzung der Besucher:innen im Museum erhalten. Dieses System unterstützt Kurator:innen ebenfalls bei der Weiterentwicklung der Tour, da sie einsehen können, wie viele Besucher:innen die Tour genutzt haben und welche Wege sie in der Ausstellung gewählt haben. Außerdem können Statistiken darüber abgerufen werden, welche Exponate von den Besuchern häufig bzw. selten betrachtet wurden. Zusätzlich gibt das System Rückschlüsse darüber, wie lange die jeweiligen Exponate betrachtet wurden und hilft so dabei zu erkennen, wie vollständig die Tour von den Besuchern genutzt wurde und mit welchen Interaktionen das System genutzt wurde.

Schlüsselwörter

Augmented Reality, Autorenwerkzeuge, Museum, Digitale Ausstellung, Menschzentrierte Gestaltung

Abstract

This thesis deals with the development of an authoring system that can be used to digitally enrich physical museum exhibitions with augmented reality (AR) content. For this purpose, a prototypical AR system was developed and evaluated with several museums in Lübeck. The aim of using AR technology is to ensure that the physical original exhibit remains the central focus of attention in the exhibition, but that it can also be overlaid with additional digital information layers. These information levels can be adapted to the previous knowledge, interests, language and age of the visitors. An important aspect of the concept is that all virtual content can be changed dynamically in real time to enable continuous expansion and redesign of the digital AR content. Another central feature of the system concept is that the design and placement of virtual AR content can be carried out independently by the museum staff (curators). This opens the possibility for all museums to use this technology in a supportive way. In cases when museums work with agencies, these agencies can take care of all the necessary work. Complementing the authoring system, an analytics system was designed and developed to provide museum professionals with an evaluation tool that helps gaining a deeper understanding of the media use by the museum visitors. This system also assists museum professionals in enhancing the tour by giving them insights on how many visitors used the tour and which paths they took in the exhibition. Statistics on which exhibits were viewed frequently or infrequently by visitors can also be accessed. In addition, the system provides information about how long each exhibit was viewed, helping to identify to what extent the tour was used by visitors and with which interactions the system was used.

Keywords

Augmented Reality, Authoring Tools, Museum, Digital Exhibition, Human-Centered Design

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank an die Personen richten, die mich bei der Erstellung dieser Dissertation unterstützt haben.

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Herczeg für die Betreuung meiner Arbeit sowie der Unterstützung bei der Themenfindung und der inhaltlichen Ausarbeitung. Die vielen konstruktiven Gespräche und Diskussionen haben mich stets bereichert und motiviert. Außerdem hat mir die gemeinsame Forschungsarbeit in dem sehr spannenden Forschungsumfeld sehr viel Freude bereitet.

Mein weiterer Dank gilt Dr. Thomas Winkler, für die vielen kreativen Gespräche, welche mir insbesondere zu Beginn des Projektes geholfen haben, einen Einstieg in den Themenbereich des ALS-Projektes zu finden.

Einen großen Dank richte ich an meinen Kollegen Toni Schumacher, für die gute Zusammenarbeit und gemeinsame Forschung sowie für die hilfreiche Unterstützung.

Danken möchte ich auch meinen Kolleg:innen am IMIS für die vielen interessanten Gespräche und Feedbacks zu meiner Arbeit im persönlichen Gespräch oder im Rahmen des Oberseminars sowie der schönen gemeinsamen Zeit. Danken möchte ich auch insbesondere Anja Minzlaff und Dr. Jork Milde für die Unterstützung bei allen Anliegen.

Einen weiteren Dank möchte ich an die wissenschaftlichen Hilfskräfte und allen Studenten richten, mit denen mir die gemeinsame Arbeit sehr viel Freude gemacht hat.

Den Projektpartnern des ALS-Projektes, insbesondere Frau Dr. Fütting und Frau Dr. Lipinski sowie allen weiteren Projektbeteiligten möchte ich ebenfalls für die gute Zusammenarbeit und den kreativen Austausch danken.

Ferner möchte ich meiner Bekannten Tanja Kruse für die mehrfache Durchsicht meiner Ausarbeitung danken.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie für ihre Unterstützung danken.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Abstract	2
Danksagung	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung	10
1.1 Projekthintergrund	10
1.2 Pädagogisches Modell von ALS	11
1.3 Museen in Deutschland.....	12
1.4 Arbeitsfelder von Museumsmitarbeiter:innen in Deutschland.....	14
1.5 Zielsetzung und Motivation	15
1.6 Forschungsfragen.....	17
1.7 Aufbau und Struktur der Arbeit	18
2 Grundlagen	20
2.1 Digitalisierung von Ausstellungen.....	20
2.2 Technologische Grundlagen	22
2.2.1 Augmented Reality.....	22
2.2.2 AR-Autorensysteme.....	24
2.2.3 Smartphone-Betriebssysteme.....	26
2.2.4 AR-Frameworks.....	26
2.2.5 Aufwand in der Erstellung von AR-Touren.....	28
2.3 Online-Recherche zum AR-Einsatz in Museen	29

2.4	Fazit.....	31
3	Onlinebefragungen von Museen	33
3.1	Studie 2018	33
3.1.1	Allgemeine Fragen	34
3.1.2	Fragen zum Einsatz von digitaler Technik.....	40
3.1.3	Fragen zur Besucherforschung.....	44
3.2	Studie 2020	47
3.2.1	Allgemeine Fragen	48
3.2.2	Fragen zum Thema Augmented Reality.....	49
3.2.3	Fragen zur aktuellen Besucherführung	51
3.2.4	Fragen zur Mehrsprachigkeit in Museen.....	52
3.3	Fazit.....	56
4	Ambient Learning Spaces.....	57
4.1	Lehren innerhalb der Schule	57
4.2	Lehren außerhalb der Schule.....	58
4.3	ALS-Systemkontexte	58
4.4	Die ALS Lehr- und Lernmodule	59
4.4.1	Die Wearables und Mobiles von ALS.....	60
4.4.2	Die stationären Installationen und die Tangibles von ALS.....	61
4.4.3	Das ALS-Portal	65
4.4.4	ALS-Werkzeuge.....	65
4.5	Die Integrierte ALS-Backend-Plattform NEMO	67
4.5.1	Die ALS-Systemarchitektur	67
4.5.2	Dienst-Ebenen und Funktionen von NEMO	67
4.5.3	Die Medienspeicher und Datenbank-Ebene von NEMO	69

5	Ein AR-Autorensystem für Museen	70
5.1	Grundlagen.....	70
5.2	Architektur AR-Autorensystems.....	71
5.3	Erstellung einer InfoGrid Tour über das ALS-Portal.....	73
5.3.1	Definition der Tourdaten.....	73
5.3.2	Erstellung von Targets	75
5.3.3	Erweiterte Startoptionen.....	76
5.3.4	Definition der Tour-Inhalte	76
5.3.5	Einrichtung einer Karte zur Besucherführung.....	79
5.4	Mehrsprachigkeit	81
6	ALS-Werkzeuge	82
6.1	VideoEdit	82
6.1.1	Benötigte Features zur Videobearbeitung in ALS	83
6.1.2	Systemarchitektur von VideoEdit	83
6.1.3	Frontend-Design.....	84
6.1.4	Evaluationen von VideoEdit	87
6.2	ImageEdit.....	90
6.2.1	Benötigte Features zur Bildbearbeitung.....	90
6.2.2	Systemarchitektur von ImageEdit	91
6.2.3	Frontend-Design.....	91
6.2.4	Evaluation	92
6.3	NEMO-Converter 3D.....	93
6.3.1	Voraussetzungen für die Rekonstruktion	93
6.3.2	3D-Rekonstruktions Algorithmus	94
6.3.3	Evaluation des NEMO-Converter 3D	97
6.4	3DEdit.....	98

6.4.1	Benötigte Features zur Korrektur von 3D-Objekten	98
6.4.2	3DEdit Frontend.....	99
6.4.3	Verarbeitung der 3D-Objekte.....	99
6.4.4	Qualität und Laufzeit.....	100
6.5	Dynamische Programmierung.....	101
6.5.1	Das Konzept von AssetCollections	101
6.5.2	Der AssetCollection Creator	103
6.5.3	Evaluation der AssetCollections	103
7	InfoGrid: Ein Darstellungssystem für AR-Touren.....	105
7.1	Konzeption von InfoGrid	105
7.2	Benutzungsschnittstelle von InfoGrid.....	109
7.3	AR-Overlay-Arten	114
7.4	Mehrsprachigkeit	120
7.5	Nutzungsdatenerfassung	120
7.6	Platzierung von 3D-Inhalten in AR-Umgebungen.....	121
7.6.1	Platzierung von 3D-Inhalten mit dem Smartphone.....	122
7.6.2	Formative Evaluation von Interaktionsmethoden	123
7.6.3	Frontend-Design der Positionierungs-Schnittstelle.....	124
7.6.4	Evaluation der InfoGrid Komponente zur Platzierung von 3D-Inhalten	125
7.6.5	Evaluation der Platzierung von Inhalten mit einer Datenbrille	126
7.7	Kartensystem zur Besucherführung	128
7.8	Implementierung von InfoGrid	130
7.9	Kommunikation mit NEMO	131
7.9.1	Kommunikationsmodell.....	131
7.9.2	Datenmodell	134
7.10	Evaluation von InfoGrid	137

8	Modellierung und Realisierung von AR-Touren für InfoGrid	140
8.1	Konzeption	140
8.2	Aufbau der technischen Infrastruktur	141
8.3	Materialsammlung	143
8.4	Bearbeitung von Videomaterial	143
8.5	Bearbeitung von Bildmaterial	145
8.6	Beschaffung oder Erzeugung von 3D-Objekten	146
8.7	Dynamische Programmierung	148
8.8	Tour Einrichtung	150
8.9	Einrichtung einer Besucherführung	152
8.10	Veröffentlichung	153
8.11	Fazit	154
9	Auswertung von AR-Touren	155
9.1	Datenmodell der Tracking-Daten	156
9.2	Komponenten innerhalb von InfoGrid	157
9.3	Anonymisierungskonzept	157
9.4	Visualisierung der Besucherinteraktionen	158
9.4.1	Darstellungsarten	158
9.4.2	Evaluation	160
9.5	Fazit	161
10	Fallstudien	162
10.1	Fallstudie Museum für Natur und Umwelt	162
10.2	Fallstudie Bremische Bürgerschaft	173
10.3	Fallstudie Zentrum für Kulturwissenschaftliche Forschung Lübeck	174
10.4	Fallstudie Buddenbrookhaus	175
10.5	Fallstudie Carl-Jacob-Burckhardt-Gymnasium	183

10.6 Fallstudie Geschwister-Prenski-Schule.....	185
10.7 Fallstudie Hanse-Schule.....	186
10.8 Fallstudie Dorothea-Schlötzer-Schule	187
10.9 Fazit.....	189
11 Diskussion	192
11.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	192
11.2 Besonderheiten und Limitationen	195
12 Ausblick.....	197
Abbildungen	199
Tabellen.....	206
Quellen	207
Anhang: Datenschutz.....	217
Anhang: Ergebnisse der Online-Recherche zum AR-Einsatz in Museen	218
Lebenslauf.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1 Einleitung

Museen sind ein wichtiger Teil der kulturellen Landschaft weltweit. Die Definition eines Museums wird von dem internationalen Museumsrat ICOM entwickelt und lautet in der Fassung von 2004 wie folgt:

„Ein Museum ist eine gemeinnützige, auf Dauer angelegte, der Öffentlichkeit zugängliche Einrichtung im Dienste der Gesellschaft und ihrer Entwicklung, die zum Zwecke des Studiums, der Bildung und des Erlebens materielle und immaterielle Zeugnisse von Menschen und ihrer Umwelt beschafft, bewahrt, erforscht, bekannt macht und ausstellt.“ (ICOM Internationaler Museumsrat, 2004)

Der Inhalt dieser Definition wird aber kontinuierlich diskutiert. Aktuell ist geplant, eine neue Definition zu erarbeiten. In dieser soll die Transformation in digitale Formate als vordringlich angesehen werden (Berg, 2021). Diese Ergänzung zeigt die Richtung, in die sich die Museumslandschaft entwickeln wird und beschreibt gleichzeitig ein großes Forschungsfeld der Digitalisierung von Ausstellungen. Einige Museen haben bereits damit begonnen Digitalisierungsprojekte durchzuführen und speichern die erzeugten Medien mit zusätzlichen semantischen Daten in speziellen Datenbanksystemen (z.B. MuseumPlus, CatalogIt). Beispielsweise wurde der gesamte Bestand von rund 26.000 Objekten der Völkerkundesammlung aus Lübeck vollständig digitalisiert (Lübecker Museen, 2018). Jedoch sind diese Daten nur in einer internen Datenbank abgelegt, wodurch die Öffentlichkeit von der Nutzung der digitalen Daten ausgeschlossen wird. Laut den Lübecker Museen ist für sie die digitale Erschließung und Präsentation eine der vorrangigsten Aufgaben (Lübecker Museen, 2018).

1.1 Projekthintergrund

Derzeit gibt es nur wenige Ansätze, wie die digitalen Daten von Museen aus einem zentralen Datenbestand heraus auf verschiedenen Endgeräten in personalisierter Form bereitgestellt werden können. Ein Konzept und eine prototypische Implementierung für ein solches System wur-

de im *Ambient Learning Spaces (ALS)-Forschungsprojekt*¹ entwickelt (Herczeg, 2022). Die grundlegenden Konzepte von ALS bauen auf den pädagogischen Theorien auf, welche im Abschnitt 1.2 vorgestellt werden. Um die Allgegenwärtigkeit der digitalen Umgebung zu realisieren, werden in ALS mobile und stationäre Lernanwendungen durch ein cloud-basiertes Backend namens NEMO (Network Environment for Multimedia Objects) über ein gemeinsames Medienrepository miteinander vernetzt. Eine besondere Eigenschaft von NEMO ist, dass gespeicherte Medien mit Tags annotiert und semantisch verknüpft werden können. Semantische Beziehungen spielen eine Schlüsselrolle dabei, Wissen über die Welt aufzubauen (Herczeg, 2023; Herczeg, Schumacher, et al., 2020).

Um die Inhalte der ALS-Anwendungen zu erstellen und zu bearbeiten, wurde das ALS-Portal entwickelt. Es ist über den Webbrowser aufrufbar und enthält jeweils ein Modul für jede ALS-Anwendung. Mit dem ALS-Portal können die wiederverwendbaren Inhalte für nahezu alle ALS-Anwendungen erzeugt und bearbeitet werden. Neben den Anwendungs-Modulen wurden zusätzliche Werkzeuge (ALS-Tools) entwickelt, mit denen Bilder, Videos und 3D-Objekte bearbeitet werden können. Durch die Integration der ALS-Tools können Medien unmittelbar im ALS-Portal erstellt oder bearbeitet werden und stehen anschließend, ohne dass ein zusätzlicher Import notwendig ist, zur Verwendung in allen ALS-Anwendungen in einem passenden Format bereit.

1.2 Pädagogisches Modell von ALS

Das pädagogische Modell, welches den ALS-Anwendungen zugrunde liegt, wird nach Herczeg (Herczeg, 2021) als post-konstruktivistisches Lernen bezeichnet. Es basiert auf einem Ansatz zum kollaborativen und konstruktivistischen Lernen wie es u.a. von Reich (2007) beschrieben wird. Der Konstruktivismus ist neben dem Behaviorismus und Kognitivismus eine Lern- und Erkenntnistheorie, die eine pädagogische Wende von der Wissensvermittlung zur Unterstützung von selbst gesteuerten Lernprozessen anregt. Nicht die Vermittlung von Fachwissen steht im Vordergrund, sondern die Fähigkeit, Wissensnetze aufzubauen (Siebert, 2005). Über mobile Endgeräte wird das Learning-on-Demand, das situationsspezifische Abrufen von Daten, ermöglicht (Freyermuth et al., 2013). Auch im *Assisted Learning* (Arnold, 2011) und bei dem *Expansive Learning* (Engeström, 2014) wird der Lernprozess so gesehen, dass er weniger abhängig

¹ gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) von 2007 – 2021 unter den Projektnummern 59778706 und 274995005.

von den Lehrinhalten als vom aktiven Lernen auch im sozialen und kulturellem Kontext selbst ist. Zusammen mit einer allgegenwärtigen digitalen Umgebung, wie sie von Weiser (1991) beschrieben wird, hat das aktive selbst gerichtete kreative Lernen, welches durch digitale Medien unterstützt wird, ein hohes Potenzial für die Bildung der Zukunft (Herczeg, Ohlei, Schumacher, et al., 2021).

Im Rahmen von ALS wurden Lernsysteme und Umgebungen konzipiert und umgesetzt die auf den Bildungsbereich und insbesondere auf Jugendlichen und Kindern ausgerichtet sind. Die wesentlichen Konzepte finden auch bei InfoGrid, welches im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt wird, Anwendung und sind wie folgt nach Herczeg (2021) definiert:

- ein Mediensystem für konstruktivistisches Lernen
- Lernende als kreative Ersteller und Lehrer als
- ambientes, d. h. technologisch eingebettetes Lernen zu jeder Zeit und an jedem Ort
- ein breites Spektrum an Wissenswerkzeugen
- Unterstützung bei der Wissenserweiterung
- semantische Modellierung von Domänen durch Medien
- situationsspezifisches Learning-on-Demand

Die Lernsysteme und Umgebungen wurden in ALS so konzipiert und umgesetzt, sodass die Methoden des digitalen Lernens in eine integrierte Plattform eingebunden wurden, in der Medien erstellt, konstruiert, verbunden und kommentiert werden können, um sog. *Knowledge Media* zu erzeugen (Herczeg, 2023). Dies wird nach Herczeg (2021) als post-konstruktivistisches Lehren und Lernen bezeichnet, da es dem konstruktivistischen Ansatz folgt, jedoch aufgrund der intensiven Interaktion in der realen Welt in hohem Maße authentische ist und sich auf die sog. *Lebenswirklichkeit* bezieht (Herczeg, 2021).

1.3 Museen in Deutschland

In der Datenbank des Instituts für Museumsforschung werden mit dem Stand vom Januar 2022 insgesamt 7096 Museen in Deutschland gelistet. Für Museen in Deutschland ergibt sich aus der Abfrage für das Jahr 2019 eine aggregierte Besuchszahl von 111.633.603 (Rahemipour & Grotz, 2021). Thematisch werden die Museen in folgende Museumsarten unterteilt (vgl. Abb. 1):

- Kulturgeschichtliche Spezialmuseen
- Orts- und Regionalgeschichte / Europäische Ethnologie

- Kunstmuseen
- Schloss- und Burgmuseen
- Naturkundemuseen
- Naturwissenschaftliche und technische Museen
- Historische und archäologische Museen
- Sammelmuseen mit Komplexen Beständen

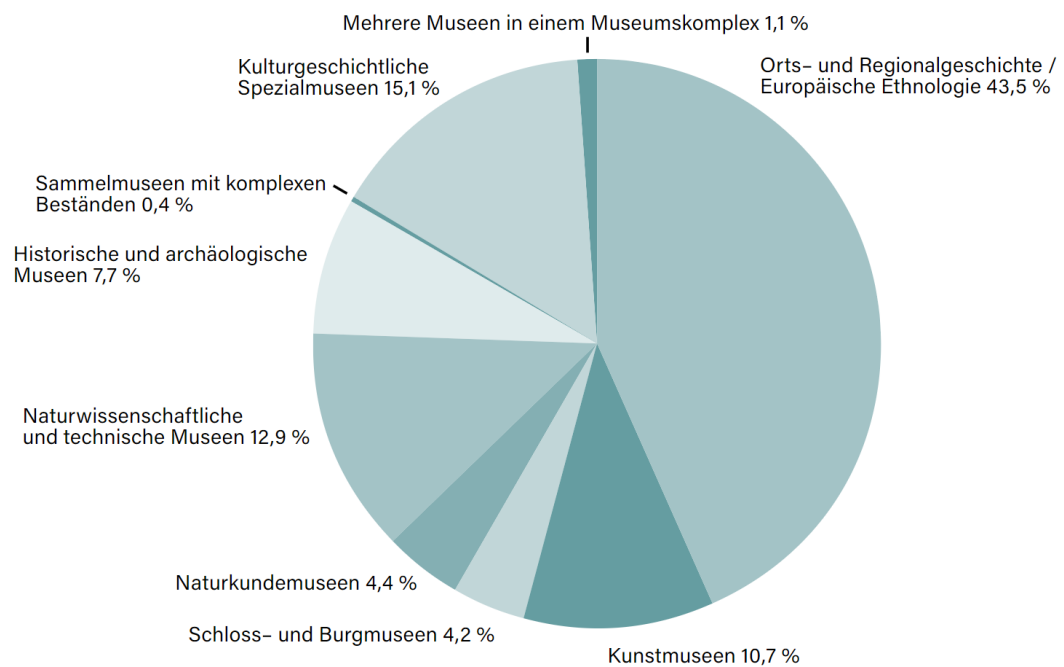


Abbildung 1: Verteilung der Museen nach Museumsarten in Prozent im Jahr 2019 (n = 6834) (Rahemipour & Grotz, 2021)

In Museen gibt es Dauerausstellungen sowie Sonder- oder Wanderausstellungen. Dauerausstellungen sind heutzutage auf einen Zeitraum von 10 bis 20 Jahren ausgelegt (Menke, 2015). Während dieser Zeit unterliegen sie ab dem Zeitpunkt der Veröffentlichung einem stetigen Prozess der Alterung und werden fortan nicht weiter an die Besucherinteressen angepasst. Nur in Ausnahmefällen findet noch eine spätere Anpassung statt (Menke, 2015). Daher werden häufig wechselnde, möglichst spektakuläre Sonderausstellungen als Visitenkarte eines Museums gesehen (Menke, 2015).

1.4 Arbeitsfelder von Museumsmitarbeiter:innen in Deutschland

Benutzeranalysen liefern eine detaillierte Informationsgrundlage, welche Eigenschaften die Zielgruppen für ein System voraussichtlich haben werden (Herczeg, 2018). Daher wird in diesem Abschnitt ein Überblick über die verschiedenen Rollen von Museumsmitarbeiter:innen, die jeweils einzelnen Fachbereichen zugeordnet sind, dargestellt. Die Aufgaben dieser Rollen wurden vom Deutschen Museumsbund unter Rücksprache mit der ICOM definiert und soll als Richtlinie gelten (Deutscher Museumsbund, 2008). Jeder Fachbereich übernimmt im Museum spezifische Aufgaben und kommuniziert mit den anderen Fachbereichen. Zur Übersicht wurde ein entsprechendes Funktionsschema entwickelt:



Abbildung 2: Funktionsschema mit den jeweiligen Fachbereichen im Museum. Dieses Schema beschreibt funktionelle Beziehungen und stellt kein hierarchisch gegliedertes Organigramm dar (Deutscher Museumsbund, 2008).

Folgende Rollen von Museumsmitarbeiter:innen wurden dabei identifiziert (vgl. Abb. 2) (Deutscher Museumsbund, 2008):

1. Sammlungen und Forschung

- Kurator:innen

- Leiter:innen Inventarisierung
- Registrar:innen
- Sammlungsassistent:innen
- Leiter:innen des Dokumentationszentrums
- Ausstellungskurator:innen
- Ausstellungsgestalter:innen

2. Besucherdienste

- Leiter:innen Vermittlung und Museumspädagogischer Dienst
- Vermittler:innen
- Leiter:innen Besucher- und Aufsichtsdienst
- Leiter:innen Bibliothek/Mediathek
- Webmaster:innen

3. Verwaltung, Management und Logistik

- Verwaltungsleiter:innen
- Leiter:innen Logistik und Sicherheit
- Leiter:innen Informationstechnik
- Leiter:innen Marketing, Öffentlichkeitsarbeit und Fundraising
- Leiter:innen Pressestelle

Als Zielgruppe für das Autorensystem gelten im Kontext von Museen alle Museumsmitarbeiter:innen, die mit der Planung und Gestaltung von Ausstellung befasst sind. Im Verlauf dieser Arbeit wird diese Personengruppe als Kurator:innen bezeichnet und erweitert dadurch den eigentlich eng gefassten Begriff der Kurator:innen um Aufgaben, die auch von Ausstellungsgestaltern übernommen werden können. Nach der Definition vom deutschen Museumsbund sind die Kernaufgaben von Kurator:innen: *„Ein Kurator ist in Abstimmung mit der Direktion für die Konzeption, Organisation und Realisierung von Dauer- und Sonderausstellungen verantwortlich. In kleineren und mittleren Häusern übernimmt häufig der Sammlungsleiter oder die Direktion die Konzeption, Organisation und Realisierung von Dauer und Sonderausstellungen.“* (Deutscher Museumsbund, 2019).

1.5 Zielsetzung und Motivation

Die vorliegende Arbeit baut auf dem ALS-Systemkonzept auf und beschreibt die Forschung zum Einsatz von Augmented Reality (AR) zur Unterstützung des selbst gerichteten Lernens im

Museumskontext. Die AR-Technologie orientiert sich an der post-konstruktivistischen Lerntheorie (Herczeg, 2021) welche in Abschnitt 1.2 genauer erläutert wird.

Der Nutzen von AR im Bereich des kulturellen Erbes, zu denen auch Museen zählen, wurde in einer Literaturrecherche von Vargas (2020) gezeigt. In der Recherche wurde bei der Verwendung von AR ein positiver Einfluss auf die Motivation für Themen wie Kunst, Geschichte, Wissenschaften etc. festgestellt. Außerdem wurde festgestellt, dass AR im Klassenzimmer sowie in informellen Lernumgebungen wie Museen, Parks, archäologischen Stätten, an Orten des kulturellen Erbes, in öffentlichen Verkehrsmitteln etc. eingesetzt werden kann (Vargas et al., 2020). Zusätzlich wurde die AR-Technologie in den letzten Jahren stetig weiterentwickelt. So haben die Firmen Google und Apple die Frameworks ARCore und ARKit entwickelt, welche als Teil ihrer aktuellen Betriebssysteme zur Verfügung stehen. Dadurch hat sich die Technologie von einer Randerscheinung, welche von speziellen Framework Anbietern angeboten wurde, erheblich weiterentwickelt. Für den Museumsbereich bietet dies den Vorteil, dass AR-Anwendungen auf den Smartphones oder Tablets der Besucher:innen verwendet werden können und sie so ihre eigenen Geräte, mit denen sie vertraut sind, mit dem sogenannten *Bring your own Device (BYOD)* Prinzip (Herczeg, Ohlei, et al., 2020), nutzen können.

In dieser Arbeit werden die Grundlagen und die Architektur für ein AR-Authoring System mit dem Namen InfoGrid erarbeitet. AR-Authoring bezeichnet im Rahmen dieser Arbeit, dass AR-Touren ohne Programmierkenntnisse erzeugt, bearbeitet und erweitert werden können. Eine AR-Tour bildet dabei mehrere physischen Orte ab, an denen AR-Inhalte abgerufen werden können, welche in einem inhaltlichen Zusammenhang stehen. AR-Touren bieten die Möglichkeit einer freien Erkundung, können aber auch in einer zuvor definierten Reihenfolge abgerufen werden. InfoGrid wird primär an dem Nutzungskontext von Museen illustriert kann aber auch in anderen Kontexten genutzt werden. Es folgt dem Konzept der Erzeugung von Hybriden Exponaten, bei denen das Ziel ist, Informationen real und virtuell zu vermitteln, ohne die Aura des Originals zu beeinträchtigen (Skowronski et al., 2018). Mit InfoGrid lassen sich auch andere Nutzungskontexte in anderen Bereichen wie z.B. der Industrie abdecken, diese werden aber im Rahmen der Arbeit nicht weiter untersucht. Eine Besonderheit von InfoGrid ist es, dass die Autoren der AR-Touren die Möglichkeit erhalten, ihre Touren kontinuierlich mit neuen inhaltlichen Elementen zu erweitern und diese angepasst an die Interessen, die Sprache und das Alter ihrer Nutzer:innen bereitzustellen. Für die Erstellung der AR-Touren können die digitalen Inhalte, die während der laufenden Digitalisierungsprojekte erstellt wurden, genutzt und in reichhaltige AR-Erfahrungen umgewandelt werden. InfoGrid unterstützt dabei die von Hornecker (2016) vorgestellte räumlich kontextuelle Einbettung, bei der real physische Objekte und Um-

gebungen digital angereichert werden, diese aber weiterhin im Fokus der Betrachtung bleiben. InfoGrid wird so konzipiert, dass Kurator:innen anonyme Statistiken über den Abruf der digitalen Inhalte einsehen können, um die Ausstellung zu evaluieren. Auf Basis der Evaluationsdaten können anschließend Anpassungen an der digitalen Präsentation vorgenommen werden und diese Daten ebenfalls für die Auswertung über den Erfolg der Ausstellung ermitteln. InfoGrid wird außerdem so konzipiert, dass alle Komponenten zur Erstellung der digitalen Inhalte webbasiert verwendet werden können. Die App, welche von den Museen für ihre Besucher:innen bereitgestellt wird, kann auf den Smartphones oder Tablets der Besucher:innen verwendet werden. Dadurch entfällt zusätzlich die Beschaffung, Wartung und Pflege teurer Geräte für die Museen. Zunächst wird eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Anschließend werden die einzelnen benötigten Komponenten analysiert und beschrieben. Weiterhin wird eine prototypische Implementierung von InfoGrid vorgestellt. Zuletzt werden die Ergebnisse von drei Fallstudien, bei denen InfoGrid in verschiedenen Stadien der Entwicklung in unterschiedlichen Partnereinrichtungen evaluiert wurde, vorgestellt.

1.6 Forschungsfragen

In dieser Arbeit werden zwei primäre und zwei sekundäre Forschungsfragen behandelt. Die primären Forschungsfragen beziehen sich auf das AR-Autorensystem und auf dessen Nutzbarkeit durch Kurator:innen:

1. Wie kann ein Autorensystem für AR-Inhalte gestaltet werden, sodass virtuelle Inhalte ohne Programmierkenntnisse dynamisch erstellt, bearbeitet, erweitert und in die physische Umgebung eingebunden werden können?
2. Welche Funktionen des Autorensystems sind von Kurator:innen ohne technische Unterstützung nutzbar? Bei welchen Funktionen benötigen sie Unterstützung durch Medienfachleute oder auch Software-Entwickler?

Die sekundären Forschungsfragen beziehen sich auf die Teilbereiche der Platzierung der virtuellen Inhalte und der Evaluation der erstellten Touren durch Kurator:innen. Sie sollen diese Anwendungsbereiche vertiefend untersuchen und Lösungsansätze vorstellen:

3. Welche Interaktionsformen haben die höchste Gebrauchstauglichkeit bei der Positionierung von interaktiven AR-Elementen?
4. Welche Anforderungen gibt es aus der Sicht von Kurator:innen an ein Visualisierungssystem für Besucherdaten?

1.7 Aufbau und Struktur der Arbeit

Kapitel 1 gibt einen Überblick über das zugrunde liegende Projekt Ambient Learning Spaces (ALS) und das pädagogische Modell, auf dem die ALS-Anwendungen aufbauen. Da diese Arbeit insbesondere auf das Themenfeld von Museen ausgerichtet ist, wird ein Überblick über die Anzahl und Ausrichtung von Museen in Deutschland vorgestellt. Dabei wird darauf eingegangen, welche Rollen und Aufgaben es bei den Mitarbeitern in deutschen Museen gibt. Aufbauend darauf werden die Zielsetzung und die Motivation der Arbeit sowie die Forschungsfragen vorgestellt.

Kapitel 2 schildert die Grundlagen der Arbeit, indem es über die Digitalisierung in Museen aus Deutschland und über die Evaluation innerhalb der Museen berichtet. Außerdem werden die technologischen Grundlagen von der Augmented Reality (AR)-Technologie, bestehenden AR-Autorensystemen und AR-Frameworks vorgestellt.

Kapitel 3 berichtet über die Ergebnisse von zwei Onlinebefragungen mit Museen aus Deutschland, in denen der Technikeinsatz und die Technikerfahrung sowie die Besucherforschung, Besucherführung und Mehrsprachigkeit untersucht wurden.

Kapitel 4 beschreibt das dieser Arbeit zugrunde liegende Forschungsprojekt Ambient Learning Spaces. Dabei werden die Konzepte für das Lehren innerhalb und außerhalb der Schule sowie die Systemkonzepte vorgestellt. Darüber hinaus werden die ALS Lehr- und Lernmodule sowie NEMO vorgestellt.

Kapitel 5 stellt die Architektur des in dieser Arbeit entwickelten AR-Autorensystems für Museen vor. Außerdem werden die benötigten Arbeitsschritte für die Erstellung von AR-Touren über das ALS-Portal dargestellt.

Kapitel 6 beschreibt die ALS-Werkzeuge, welche nahtlos im ALS-Portal integriert sind und zur Erzeugung und Bearbeitung von Videodateien, Audiodateien, Bildern und 3D-Objekten verwendet werden können.

Kapitel 7 stellt die Konzeption, Realisierung und Dialogbeispiele des InfoGrid-Systems dar. Außerdem wird die Forschungsfrage zur Platzierung von 3D-Inhalten in AR-Umgebungen erörtert.

Kapitel 8 beschreibt die notwendigen Arbeitsschritte, um AR-Touren mit dem in dieser Arbeit vorgestellten AR-Autorenwerkzeug zu modellieren und zu realisieren.

Kapitel 9 erörtert die Forschungsfrage, wie die Verwendung von AR-Touren von Nutzer:innen ausgewertet werden können. Dabei wird zunächst vorgestellt, auf welche Weise InfoGrid Nutzungsdaten sammelt. Anschließend wird ein System vorgestellt, welches die gesammelten Daten visuell aufbereitet darstellt. Zuletzt werden die Ergebnisse einer qualitativen und quantitativen Evaluation des Systems vorgestellt.

Kapitel 10 berichtet über Fallstudien, welche im Verlauf des Projektes durchgeführt wurden.

Kapitel 11 fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf weitere Forschungsfragen.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird ein Überblick über den Stand der Digitalisierung von Museen in Deutschland vorgestellt. Zusätzlich wird dargestellt, wie einige Museen aktuell Besucherforschung betreiben. Anschließend wird der aktuelle Stand der AR-Technologie vorgestellt und es wird ein Überblick über aktuelle AR-Settings in Museen dargestellt.

2.1 Digitalisierung von Ausstellungen

Die Beauftragte der Bundesregierung für Kultur und Medien hat ein Perspektivenpapier mit dem Titel „*Kulturen im digitalen Wandel*“ erstellt (Döhl & Jürgens, 2021). In diesem Bericht werden laufende Digitalisierungsprojekte vorgestellt, die u.a. der Vernetzung von Kultureinrichtungen dienen oder auch die Kultur einer breiten Nutzergruppe zugänglich machen sollen. Außerdem wird die Schaffung eines Digitalisierungsrats für den Bereich Kultur vorgeschlagen (Kulturrat.de, 2021). In dem Bericht werden Projekte aus unterschiedlichen Bereichen vorgestellt, die sich mit der Kulturlandschaft in Deutschland insgesamt befassen. Drei der vorgestellten Projekte beziehen sich unmittelbar auf Museen. Das erste Projekt, welches den Namen „KULTUR.GEMEINSCHAFTEN“ trägt, befasst sich mit der digitalen Content Produktion. Die beiden weiteren Projekte „dive in Programm für digitale Interaktionen“ sowie „museum4punkt0“ stellen jeweils einen Projektverbund dar, in dem konkrete Projekte zur digitalen Präsentation von Museumsinhalten vorgestellt werden. Auf der Webseite von „museum4punkt0“ werden die vorhandenen Projekte in folgende Kategorien unterteilt:

- 3D-Digitalisierung
- Augmentation
- Chatbot
- Guidesystem
- Native App
- Virtual Reality
- Website & Web-App
- nicht eingeordnet (Storytelling)

Bei der genaueren Betrachtung der einzelnen Projekte lässt sich feststellen, dass diese weitestgehend als individuelle Lösungen für die jeweiligen Museen entwickelt wurden. Die Projekte wurden unter anderem zur Erforschung des Technologieeinsatzes in den Museen entwickelt. (Museum4punkt0.de, 2021)

Museen stehen fortlaufend vor der Herausforderung, finanzielle Unterstützung durch Ihre Besucher:innen und andere Geldgeber zu erhalten. Außerdem wandeln sich die gesellschaftlichen Ansprüche an ein Museum. Daher sind die Besucherforschung und Evaluationen wichtige Aufgaben eines Museums (Wegner, 2011). Das Zentrum für Audience Development (ZAD) hat 2007 eine online Umfrage zur Besucherforschung durchgeführt an der 174 Museen (von 568 kontaktierten Museen) teilgenommen haben (ZAD, 2007). Von diesen Museen haben 53,4 % innerhalb der letzten 5 Jahre eine Besucherforschung durchgeführt. Bei den Besucherforschungsprojekten handelte es sich um Befragungen von verschiedenen Besuchergruppen.

Folgende Besuchergruppen wurden dabei von den Museen befragt:

- Das Gesamtpublikum (91,4%),
- Publikumsanteile (z.B. Abonnenten, Gruppen, Jugendliche, Senioren) (26,9%),
- Nichtbesucher (16,1%).

Als Erhebungsmethode wurden folgende Methoden genutzt:

- einen Fragebogen zum Selbstausfüllen (71%),
- persönliche Interviews (61,3%),
- weitere Erhebungsverfahren (<10%).

Durchgeführt wurden die Umfragen dabei von folgenden Personen:

- eigenes Personal (55,9%),
- Student:innen im Rahmen ihrer Qualifikationsarbeit (16,1%),
- durch Universitäten (16,1%),
- durch professionelle Marketinginstitute (15,1%),
- durch sonstige Akteure (18,3%).

Weitere Formen der Besucherforschung, die Museen anwenden sind:

- die eigene Besucherstatistik (74,2%),
- ein Gästebuch (62,4%),
- indirekte Beobachtung der Besucher:innen (38,7%),
- (E-Mail) Korrespondenz (29%),

- Gespräche mit den Besucher:innen durch eigene Mitarbeiter (34,4%),
- weitere externe Daten (7,5%),
- Berichte vom Kassenpersonal (72%),
- Besucherdienst/Museumspädagogik (54,8%),
- Museumsstatistik (23,7%).

2.2 Technologische Grundlagen

In diesem Abschnitt wird die AR-Technologie beschrieben und ein Überblick über die aktuell bestehenden AR-Authoring Möglichkeiten gegeben. Außerdem wird die Verwendung der AR-Technologie in Museen vorgestellt. Zuletzt werden die Ergebnisse einer Befragung von Museen zum Thema Digitalisierung und AR vorgestellt.

2.2.1 Augmented Reality

Bei der Augmented Reality-Technologie wird durch geeignete Ausgabegeräte der gerade wahrgenommene Ausschnitt (z.B. das zentrale Blickfeld) der Realität dynamisch um digitale Informationen ergänzt (Herczeg, 2006). Anders als bei Virtual Reality (VR)-Systemen, in denen die Nutzer:innen sich komplett in einer virtuellen Welt befinden und die reale Umgebung für gewöhnlich keine Rolle mehr spielt, werden mit AR physische Umgebungen ebenfalls mit einbezogen. Um eine Einordnung von AR in das Spektrum zwischen Realität und Virtualität einzuordnen, erstellte Milgram (Milgram et al., 1995) das Reality-Virtuality Continuum (siehe Abb. 3).

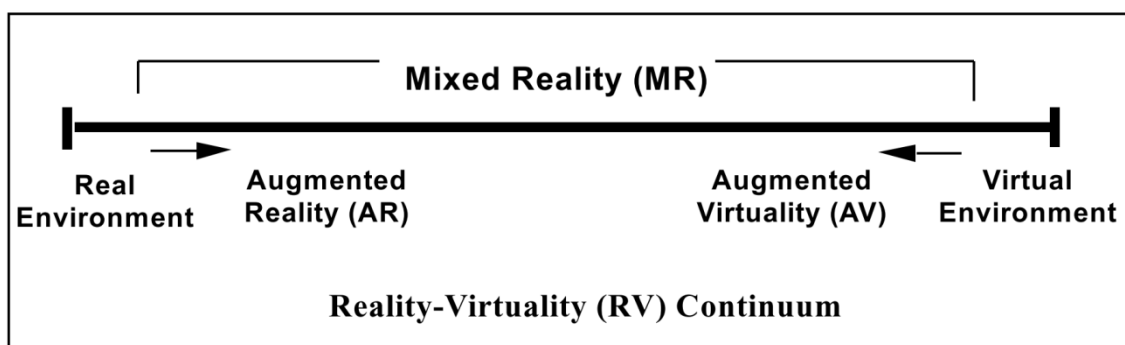


Abbildung 3: Reality-Virtuality (RV) Continuum (Milgram et al., 1995)

Die zweidimensionale Darstellung des Reality-Virtuality Continuum wird von Mann (Mann et al., 2002) um eine weitere Dimension erweitert. Diese bezeichnet er als *Mediality*, welche einen

Grad der Modifikation beschreibt. Es entsteht neben der Reality eine *Mediated Reality* sowie neben der Virtuality eine *Mediated Virtuality* die jeweils leicht bis stark ausgeprägt sein kann. Augmented Reality-Systeme werden durch drei Eigenschaften charakterisiert. Sie kombinieren nach Azuma (1997):

1. Reales und Virtuelles,
2. sie sind in Echtzeit interaktiv und
3. sie werden in einer registrierten 3-D Umgebung dargestellt.

Neben der rein visuellen Darstellung von Inhalten kann Augmented Reality aber auch genutzt werden, um Nutzer:innen auditive Informationen in Bezug zu ihren physischen Kontexten wiederzugeben. Dies kann beispielsweise dazu genutzt werden, um Personen mit visuellen Einschränkungen die physische Umgebung zugänglicher zu machen (Lo Valvo et al., 2021). Für die Darstellung von AR-Inhalten können Geräte verwendet werden, die am Kopf oder in der Hand getragen werden oder Geräte, die sich im Raum befinden. Am Kopf können beispielsweise die AR-Brille Microsoft HoloLens oder die Magic Leap One getragen werden. Zu den in der Hand getragenen Geräten zählen unter anderem Smartphones und Tablets. Bei den räumlichen Displays handelt es sich primär um PC-Bildschirme oder um Projektoren (Billingham et al., 2015).

Für die Erkennung der Umgebung können verschiedene Sensoren verwendet werden. Zu diesen Sensoren zählen (Aukstakalnis, 2016):

- Optische Tracker, welche mittels einer Kamera erfasst werden;
- Beacon Tracker, welche unter anderem mittels Bluetooth erfasst werden;
- elektromagnetische Tracker, welche über Magnetfeld Sensoren erfasst werden;
- Trägheits-Sensoren, z.B. das Gyroskop oder den Beschleunigungsmesser, welche mittels der Schwerkraft ihre Lage oder Beschleunigung erkennen können;
- akustische Sensoren, welche spezielle akustische Signale empfangen und darüber ihre Lage bestimmen können.

Augmented Reality wird in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt. Unter anderem wird die Technologie in der Spieleindustrie, der Architektur, der Wissenschaft, dem Gesundheitsbereich, der Verteidigungsindustrie, der Bildung, dem Bereich Big Data Visualisierungen oder dem Bereich Telerobotik und Telepräsenz eingesetzt.

2.2.2 AR-Autorensysteme

Im Bildungskontext ermöglicht ein Autorensystem den Autoren ein computerbasiertes Curriculum ohne Programmierkenntnisse zu erstellen (Kearsley, 1982). Auf den Museumskontext bezogen bedeutet dies, dass mittels eines Autorensystems Kurator:innen digitale Inhalte für ihre Besucher:innen selbstständig und ohne Programmierkenntnisse erstellen, bearbeiten und fortlaufend erweitern können. Dies steht im Gegensatz zu abgeschlossenen Anwendungen, welche mittels aktueller Programmiersprachen entwickelt werden und nach der Fertigstellung Ergänzungen nur durch die Bearbeitung des Programmcodes zulassen. Um ein dynamisches Autorensystem zu gestalten, müssen jedoch mehr Aspekte während der Entwicklung berücksichtigt werden, da neben der Anwendung zusätzlich ein Backend sowie die Eingabeseiten für die Daten benötigt werden. Es gibt weiterhin Hinweise darauf, dass sich durch die Verwendung von Autorensystemen die Qualität der Inhalte verbessert. Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass sich durch die Verwendung von Autorensystemen die Produktivität erhöht (Locatis & Carr, 1986). Die verschiedenen Arten von Werkzeugen, die für die Gestaltung von AR-Anwendungen genutzt werden können, wurden von Billinghamurst (2015) zusammengefasst (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Hierarchie von AR-Entwicklungswerkzeugen von sehr komplexen Werkzeugen zu wenig komplexen Werkzeugen nach Billinghamurst (2015).

Art des Werkzeugs	Benötigte Fähigkeiten	Beispielanwendungen
Low-level software library/framework	starke Programmier- und Softwareentwicklungsfähigkeiten	ARToolkit, MXR-Toolkit
Rapid prototyping tool	einige Programmierfähigkeiten, aber Design- / Prototypingfähigkeiten	FLARManager, Processing, OpenFrameworks
Plug-in for existing developer tool	Fähigkeiten, mit dem Entwicklerwerkzeug umzugehen, in dem das Plug-in verwendet wird	DART, AR-Media plug-ins, Vuforia and Metaio Unity plug-ins
Stand-alone AR authoring tool	keine Programmierfähigkeiten, aber die Fähigkeit, den Umgang mit dem System zu lernen	BuildAR, Metaio Creator, Layar Creator, Wikitude Studio

Falls Kurator:innen eine AR-Tour innerhalb ihrer Ausstellung selbst gestalten und erweitern möchten, kommt nur ein Stand-Alone AR-Authoring Tool in Betracht, da es keine Programmierfähigkeiten voraussetzt. Zusätzlich können auch externe Entwickler beauftragt werden, um

eine AR-Tour für eine Ausstellung zu erstellen. Dabei ist die Verwendung eines Stand-Alone AR-Authoring Tools ebenfalls von Vorteil, da die Tour nach der Erstellung auch von den Kurator:innen ohne die Unterstützung der externen Entwickler weiterentwickelt werden kann. Ebenfalls ist durch die Verwendung eines solchen Systems gewährleistet, dass ein Museum nicht in zu starker Abhängigkeit von jeweiligen externen Entwicklern steht, da die Arbeiten auch von anderen Entwicklern weitergeführt werden können. Die am meisten verbreiteten Funktionen von AR-Autorensystemen sind laut Billingham (2015) der Aufbau von Szenen, das Hinzufügen von Animationen sowie das Hinzufügen von interaktivem Verhalten. Existierende Systeme unterstützen aber nur manche dieser Funktionen in unterschiedlicher Komplexität.

In dieser Arbeit liegt eine Besonderheit darin, dass das AR-Autorensystem mit NEMO verbunden wird. Dadurch haben Kurator:innen die Möglichkeit, alle Inhalte in einem zentralen Repository abzulegen und können diese anwendungsübergreifend in der Ausstellung einsetzen. Außerdem stehen den Kurator:innen durch die Verbindung mit NEMO ebenfalls die ALS-Tools zur Erstellung von Videos bzw. für die Bearbeitung von Bildern für ihre AR-Settings zur Verfügung. Eine weitere Besonderheit, welche durch die Entwicklung eines dynamischen AR-Frontends in Verbindung mit NEMO entsteht ist, dass AR-Touren auch auf Basis von semantischen Verknüpfungen zwischen den Inhaltselementen dargestellt werden können. Das AR-Frontend fragt bei jeder Objekterkennung bei NEMO nach dem darzustellenden Inhalt und dieser kann auf Basis der Interessen der Nutzer:innen von NEMO entsprechend angepasst ausgeliefert werden. Dadurch können komplexe Szenarien umgesetzt werden, welche auf semantischen Verknüpfungen basieren und den Interessen und Vorkenntnissen der Nutzer:innen entsprechen. In dieser Arbeit wird weiterhin erstmalig eine Kombination aus Stand-Alone AR-Authoring Tool, welches keine Programmierkenntnisse benötigt und der dynamischen Programmierung, mit der auch komplexe Inhalte ergänzt werden können, erstellt. In der Literatur wurden diese Systeme bislang getrennt betrachtet.

Um einen Überblick über die Arten der Funktionen, die in AR-Autorensystemen bereits verwendet werden, darzustellen, wurde von Schumacher (2019) mit Unterstützung des Autors dieser Arbeit eine Literaturrecherche und Analyse der gegebenen Systeme und Forschungsarbeiten durchgeführt. Im Rahmen der Literaturrecherche wurden 107 Publikationen aus den Jahren 2006 – 2019 identifiziert, welche sich mit der Thematik von AR-Autorenmöglichkeiten befassen haben. Nach Anwendung der Ausschlusskriterien verblieben 44 Publikationen, welche in der weitergehenden Analyse untersucht wurden. In den analysierten Publikationen wurden folgende Medienarten genutzt:

- Texte & Symbole
- Bilder & Videos (2D)
- Audio
- 3D-Modelle & -Daten
- Animationen

Die mit den Autorensystemen entwickelten Inhalte können auf verschiedenen Geräten wiedergegeben werden. Dabei wurden folgende Gerätearten identifiziert:

- Desktop-Computer,
- Mobile Geräte (z.B. Smartphones und Tablet-PCs)
- Andere (z.B. HMDs, Kinect und von Forschern entwickelte Spezialgeräte)

Zur Eingabe von Daten in das Autorensystem wurden fünf Geräteklassen identifiziert:

- Tastatur und Maus
- Touch
- Sprache
- Gesten (z. B. durch Arm- oder Handbewegungen)
- Tangible
- Andere

Außerdem wurden die Autorensysteme dahingehend unterschieden, ob sie nur von einer Person als Einzelsystem oder von mehreren Nutzer:innen als Multiusersystem gleichzeitig bedient werden können (Schumacher, 2019).

2.2.3 Smartphone-Betriebssysteme

Bei der Analyse der Marktanteile von mobilen Betriebssystemen sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit das Android und iOS-Betriebssystem mit einer Marktabdeckung von über 95% am weitesten verbreitet (StatCounter, 2023). Aufgrund dieser Marktabdeckung ist davon auszugehen, dass Besucher:innen primär diese beiden Betriebssysteme auf ihren privaten Geräten nutzen.

2.2.4 AR-Frameworks

Um den real-physischen Kontext mit einem Smartphone oder Tablet zu erkennen gibt es, wie in Abschnitt 2.2.1 gezeigt, verschiedene technologische Möglichkeiten. Im Rahmen des AR-

Autorensystems soll eine genaue Positionierung von virtuellen Inhalten im real-physischen Raum möglich sein. Um virtuelle Inhalte sehr präzise in den real-physischen Raum zu platzieren, kann eine Bilderkennung in Kombination mit den internen Lagesensoren des Gerätes, welche *Visual Inertial Simultaneous Localization and Mapping (VISLAM)* (Chen et al., 2018; J. Davison et al., 2017) genannt wird, verwendet werden.

Um diese Technologien zu verwenden, wurden von unterschiedlichen Herstellern entsprechende Frameworks entwickelt, welche die Funktionalität für die Anwendungsentwicklung bereitstellen. Einige Frameworks haben sich als sehr leistungsfähig erwiesen und werden derzeit standardmäßig in der Entwicklung von AR-Umgebungen verwendet. Zu diesen Frameworks zählen *ARKit*, *ARCore* und *Vuforia*. *ARKit* ist ein leistungsstarkes und funktionsreiches AR-Framework, das von Apple entwickelt wurde. Das Framework ist aber ausschließlich für den Einsatz auf Apple Geräten verfügbar und eignet sich daher nicht für die Verwendung in Verbindung mit dem AR-Autorensystem. *ARCore* ist ein AR-Framework, welches von der Firma Alphabet (Google) entwickelt wurde. Im Gegensatz zu *ARKit* kann das Framework für den Einsatz auf Android sowie iOS-Geräten genutzt werden. Bei dem Framework *ARCore* gibt es aber eine Minimalanforderung an das Betriebssystem, welches mindestens Android 7.0² oder höher sein muss. Besucher:innen haben jedoch vielfach noch ältere Android-Versionen und daher würde eine Nutzung von *ARCore* für das AR-Autorensystem viele Nutzer:innen ausschließen.

Als weiteres Framework bietet sich das *Vuforia*-Framework von der Firma PTC für die Verwendung im Rahmen des Autorensystems an. Dieses Framework ist für Android und iOS verfügbar und unterstützt Android ab der Version 4.1 und höher sowie die iOS-Version 9 oder höher³. Das Framework lässt sich außerdem mittels Unity verwenden und ermöglicht so eine Erstellung einer plattformübergreifenden AR-App.

Zusätzlich wurde im Laufe der letzten Jahre die WebAR-Technologie entwickelt, mit der AR-Inhalte im Webbrowser abgerufen werden können. Der Vorteil der Nutzung von WebAR auf Smartphones ist, dass keine zusätzliche App installiert werden muss, um die AR-Inhalte abzurufen. Dies vereinfacht den Zugriff und ermöglicht eine vereinfachte Aktualisierung der AR-Inhalte. Jedoch bringt die Nutzung der WebAR-Technologie auch einige Nachteile mit sich. Zunächst kann WebAR nur dann genutzt werden, wenn eine dauerhafte Internetverbindung zur Verfügung steht. Außerdem ist WebAR in der derzeitigen Form nur für einfache Anreicherungen nutzbar. Falls komplexere Bilder für das Tracking verwendet werden sollen, so eignet sich

² https://developers.google.com/ar/devices#google_play

³ https://docs.unity3d.com/2017.3/Documentation/Manual/vuforia_requirements.html

die native Entwicklung mittels der Unity eigenen AR Foundation besser, da die Erkennung der Bilder viel zuverlässiger funktioniert (Berger & Gerke, 2022). Die AR Foundation ist ein Unity Mapper für die Funktionen von AR Core und ARKit und von der Leistungsfähigkeit her vergleichbar mit der des Vuforia Frameworks.

2.2.5 Aufwand in der Erstellung von AR-Touren

Der Aufwand für die Konzeption und Realisierung einer AR-Tour kann durch die Verwendung eines AR-Autorensystems verringert werden. Je mehr Arbeitsschritte bei der Erstellung der AR-Tour mit dem System durchgeführt werden können, desto günstiger kann sich dies auf den benötigten Aufwand und die entstehende Qualität der AR-Tour auswirken. Dieser Zusammenhang wird in Abb. 4 grafisch dargestellt. Der höchste Aufwand entsteht, wenn die benötigte Anwendung und die AR-Tour selbst entwickelt werden, ohne ein AR-Autorensystem zu nutzen. In Abb. 4 entspricht dies der ersten Stufe.

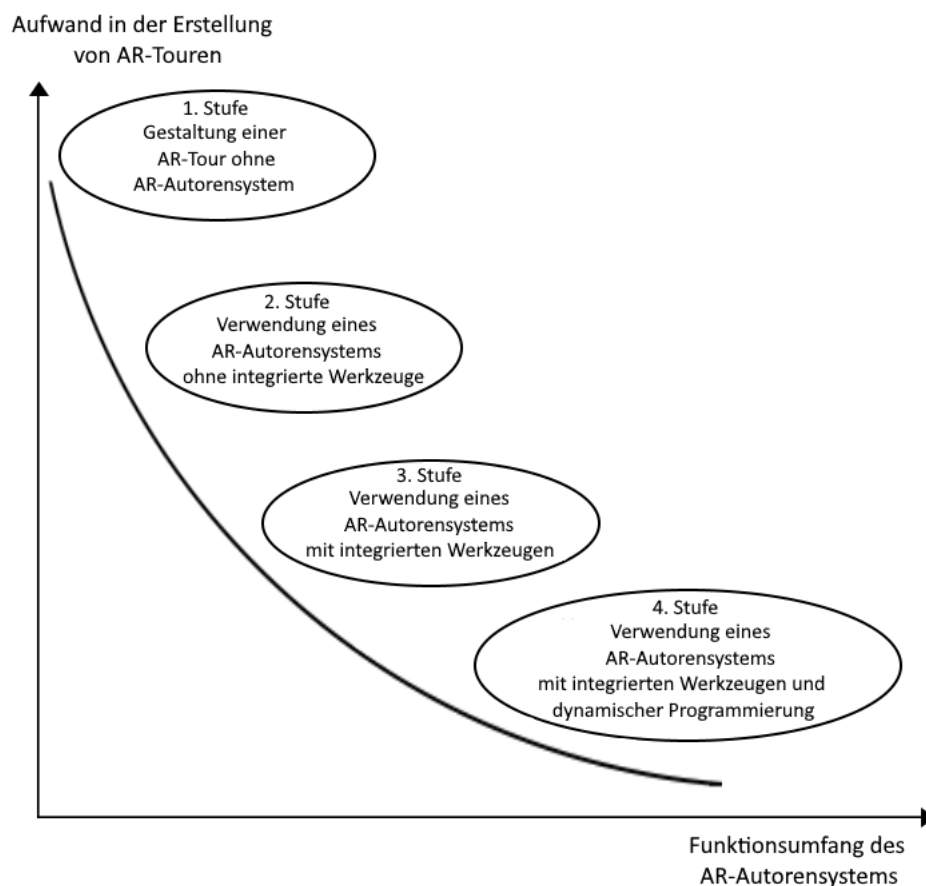


Abbildung 4: Kategorisierung von AR-Autorensystemen in vier Stufen, welche durch den Aufwand der Erstellung von AR-Touren (y-Achse) in Bezug zu dem Funktionsumfang des AR-Autorensystems (x-Achse) eingeteilt werden.

Wenn ein AR-Autorensystem eingesetzt wird, sinkt in der zweiten Stufe der benötigte Aufwand stark ab, da die Anwendungsentwicklung entfällt. Der Aufwand bei der Medienbearbeitung bleibt hoch, da es weiterhin erforderlich ist, die Medien mit externen Werkzeugen zu erstellen, bearbeiten und importieren. Die dritte Stufe des Funktionsumfangs von AR-Autorensystemen umfasst ebenfalls die Werkzeuge zur Erstellung und Bearbeitung von Medien. Diese Werkzeuge bieten ihren Nutzer:innen eine auf den AR-Kontext ausgerichtete Auswahl an Funktionen und geben die benötigten Ausgabeformate vor, wodurch der Aufwand in der Erstellung von AR-Touren weiter reduziert wird. In der vierten Stufe kommt die Einbettung der dynamischen Programmierung hinzu, welches die Notwendigkeit von Anpassungen an der Basisanwendung reduziert und dadurch den Aufwand in der Erstellung von AR-Touren weiter verringert. Zusätzlich kommen durch die Ergänzung der dynamischen Programmierung erweiterte Möglichkeiten in der Gestaltung hinzu, da interaktive Szenen zu AR-Touren ergänzt werden können. Ein reduzierter Aufwand bei der Erstellung von AR-Touren reduziert ebenfalls die Kosten und kann sich positiv auf die Qualität und den Umfang von AR-Touren auswirken. Daher unterstützt ein ausgeprägtes AR-Autorensystem Anwender:innen bei der Realisierung von AR-Settings. Das System, welches in dieser Arbeit vorgestellt wird, basiert auf der vierten Stufe der Kategorisierung von AR-Autorensystemen.

2.3 Online-Recherche zum AR-Einsatz in Museen

Um einen Überblick zu erhalten, wie viele Museen derzeit AR in ihrem Museum einsetzen, wurde zunächst in der Literatur nach entsprechenden Analysen gesucht. Jedoch wurden in der Literatur meist nur einzelne AR-Anwendungen beschrieben oder spezielle AR-Eigenschaften untersucht und es finden sich wenig Publikationen, die einen Überblick darüber geben, welche Museen in Deutschland aktuell AR-Anwendungen anbieten. Um dieser Frage nachzugehen, wurde daher in dieser Arbeit im Juni 2020 eine Online-Recherche durchgeführt, bei der das Ziel war, alle Museumswebseiten deutscher Museen nach dem Vorkommen des Begriffs „Augmented Reality“ sowie „Augmented-Reality“ zu durchsuchen. In dem Abschnitt 1.3 dieser Arbeit wurde bereits dargestellt, dass die Datenbank des Instituts für Museumsforschung (Institut für Museumsforschung, 2022) fast alle Museen aus Deutschland beinhaltet und sich daher als Datenquelle eignet.

Werkzeuge

Für den Download der URLs der Museen wurde *Microsoft Powershell* verwendet. Das Programm *HTTrack* (Version 3.49-2) wurde für den Download der Inhalte der Museumswebseiten genutzt. Mit dem Programm *Notepad++* wurde eine Volltextsuche durchgeführt. Zur Auswertung der Daten wurde *Microsoft Excel 365* verwendet.

Verfahren

Zunächst wurde eine Liste der Namen von 7096 Museen manuell aus der Webseite der Datenbank des Instituts für Museumsforschung heruntergeladen und in einer Textdatei abgespeichert. Der weitere Ablauf zur Beschaffung der URLs wurde mit einem PowerShell Skript automatisiert durchgeführt. Dabei wurde zunächst die Datei mit den Museumsnamen zeilenweise eingelesen. Für jeden Eintrag wurde dann die Detailseite des jeweiligen Museums aus der Datenbank des Instituts für Museumsforschung abgerufen. Auf den Detailseiten wurde daraufhin nach der URL des Museums gesucht. Bei einigen Detailseiten gab es keine Angabe zu der URL. Bei den Museen, bei denen eine URL angegeben war, wurde diese extrahiert und in einer weiteren Textdatei abgespeichert. Insgesamt waren bei 4239 der 7096 Museen URLs abrufbar.

Im nächsten Schritt wurden die Inhalte der Museumswebseiten, welche unter den URLs abgerufen werden konnten, mit dem Tool *HTTrack* heruntergeladen. Dabei wurde ein Download Filter eingerichtet, sodass Bilder, Videos, PDF-, CSS- und JavaScript-Dateien vom Download ausgeschlossen wurden. Der Suchalgorithmus der *HTTrack* Software wurde außerdem so konfiguriert, dass er ausschließlich auf der angegebenen URL verbleibt und ausgehenden Links nicht weiter folgt. Nachdem der Download abgeschlossen war, wurden die Ordner nach Dateien mit einer Größe von > 1 MB durchsucht, um besonders große Dateien herauszufiltern. Es wurden Dateien vom Typ ZIP, JSON, DOC, XLSX und MP3 gefunden, welche anschließend in allen Ordnern manuell gelöscht wurden.

Im letzten Schritt wurde über alle Ordner, in denen die Inhalte der Museumswebseiten gespeichert waren, eine Volltextsuche mit dem Programm *Notepad++* durchgeführt. Dabei wurde nach den Begriffen „augmented reality“ und „augmented-reality“ ohne Berücksichtigung der Groß- und Kleinschreibung gesucht.

Ergebnisse

Insgesamt waren 7096 Museen in der Datenbank des Instituts für Museumsforschung eingetragen. Von diesen Einträgen hatten 4239 jeweils eine URL angegeben. Von den 4239 Museumswebseiten wurden die Begriffe „augmented reality“ bzw. „augmented-reality“, ohne Berücksichtigung von Groß- und Kleinschreibung, insgesamt auf 57 unterschiedlichen Webseiten gefunden. Bei der manuellen Durchsicht der Webseiten wurden 6 Ergebnisse herausgefiltert, da es sich um Einträge ohne Bezug zu Museen bzw. Kultureinrichtungen gehandelt hat. Insgesamt wurden durch die Recherche 51 (0,72 %) Museen bzw. Kultureinrichtungen identifiziert, welche Augmented Reality auf ihrer Webseite beschreiben. Die URLs, auf denen die gesuchten Begriffe gefunden wurden, werden im Abschnitt 14 (Anhang) aufgelistet.

Diskussion

Es zeigt sich, dass nur ein sehr kleiner Teil der Museen (<1%) aus Deutschland zum Zeitpunkt der Studie im Juni 2020 AR-Anwendungen für ihre Besucher:innen anbieten. Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass es Museen geben kann, die bereits AR-Anwendungen anbieten, diese jedoch nicht auf ihrer Webseite beschreiben. Außerdem kann es vorkommen, dass einer der genannten Begriffe auf einer Museumswebseite vorkommt, ohne dass aktuell eine AR-Anwendung angeboten wird. Außerdem ist unklar, ob die in der Datenbank des Instituts für Museumsforschung gelisteten URLs vollständig sind, da von 7096 Museen nur 4239 Einträge eine URL hinterlegt hatten. Eventuell gibt es noch einige Museen, deren URL nicht Bestandteil der Datenbank gewesen ist, welche aber AR-Anwendungen für Besucher:innen anbieten.

2.4 Fazit

Weltweit wird die Digitalisierung von Museen, Ausstellungen und Archiven vorangetrieben und es wird an neuen Konzepten für die digitale Präsentation gearbeitet. Museen erzeugen viele bereits digitale 2D- sowie 3D-Abbildungen von ihren physischen Ausstellungsstücken und legen sie in Datenbanken zusammen mit beschreibenden Informationen ab. Jedoch sind diese Datenbestände für Besucher:innen häufig nur über Katalogsuchen auf speziellen PCs oder über das Internet einsehbar. Einen neuen Ansatz zur Bereitstellung der Medien und Informationen wird in dem ALS-Projekt, welches dieser Arbeit zugrunde liegt, erforscht. Dabei ist die Grundidee die digitalisierten Informationen und Medien in NEMO zu importieren und den Datensatz darüber in unterschiedlichen Anwendungskontexten nutzbar zu machen und den Nutzern das

selbst gesteuerte Erforschen der Daten zu ermöglichen. In dieser Arbeit wird ergänzend dazu die Möglichkeit für die Bereitstellung des Informationsbestandes der Museen mittels der AR-App InfoGrid vorgestellt. Es gibt bereits Forschung im Bereich der AR-Autorensysteme (siehe Abschnitt 2.2.2), jedoch decken die bestehenden Systeme jeweils immer nur einen Teilbereich der in Museen benötigten Funktionen und Arbeitsschritte ab.

Das Autorensystem, welches in dieser Arbeit vorgestellt wird, betrachtet hingegen alle Arbeitsschritte, die in Verbindung mit der Erstellung, Bereitstellung und Evaluation von AR-Touren relevant sind. Auf diese Weise entstand ein zusammenhängendes System, welches von unterschiedlichen Wissenschaftlern und Studierenden entwickelt wurde. Dabei wurden maßgeblich vom Autor dieser Arbeit die Architektur und die softwaretechnischen Konzepte für das AR-Autorensystem entwickelt. Außerdem wurde vom Autor dieser Arbeit die Grundversion von InfoGrid entwickelt. Die einzelnen Komponenten von InfoGrid wurden anschließend in Qualifizierungsarbeiten, welche, bis auf die Komponente der Mehrsprachigkeit, vom Autor dieser Arbeit betreut wurden, erforscht und ausgearbeitet. Die Betreuung der Qualifizierungsarbeit zur Mehrsprachigkeit von InfoGrid, sowie die Einbindung der Komponente in InfoGrid wurde von Toni Schumacher durchgeführt. Die erstellten Komponenten wurden anschließend bedarfsweise vom Autor dieser Arbeit überarbeitet und in die finale InfoGrid-Version übernommen. Die Umsetzung der Formulare im ALS-Portal wurde nach ihrer gemeinsamen Konzeption von wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen umgesetzt. Die einzelnen ALS-Werkzeuge wurden in Qualifizierungsarbeiten und Projektarbeiten umgesetzt und vom Autor dieser Arbeit anschließend in Teilen überarbeitet. Bei der Ausarbeitung des Backends und der NEMO-Anbindung wurden vom Autor dieser Arbeit die Web-Services für VideoEdit, das Auswertungssystem sowie das Kartensystem entwickelt.

3 Onlinebefragungen von Museen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von zwei Onlinebefragungen vorgestellt, in denen Museen aus Deutschland zu den Bereichen Augmented Reality, Besucherführung, Besucherforschung, Technikeinsatz und Mehrsprachigkeit befragt wurden. Die Ergebnisse der Onlinebefragungen werden als Grundlage für Entscheidungen der Gestaltung der jeweiligen Anwendungsbereiche des AR-Autorensystems aufgegriffen. Die erste Studie wurde 2018 von Bundt und Bunge jeweils im Rahmen ihrer Bachelorarbeit mit der Unterstützung des Autors dieser Arbeit durchgeführt (Bundt, 2018; Bunge, 2018). Die zweite Studie wurde 2020 von Lindemann und Scheer jeweils im Rahmen ihrer Bachelorarbeit mit der Unterstützung des Autors dieser Arbeit durchgeführt (Lindemann, 2021; Scheer, 2020). Die Studien umfassten jeweils einen LimeSurvey-Fragebogen, der per E-Mail an die Museen gesendet wurde. In den E-Mail-Anschreiben wurden das Forschungsprojekt und der Hintergrund der Umfrage vorgestellt und ein Link zu der LimeSurvey-Umfrage ergänzt. Außerdem wurden die Teilnehmer:innen gefragt, ob sie mit der anonymen Auswertung ihrer Antworten einverstanden sind. Bei allen hier vorgestellten Umfrageergebnissen liegt die Einverständniserklärung vor. In den genannten Qualifizierungsarbeiten wurde zuvor nur ein Teil der Rückmeldungen betrachtet, da sich nach der Auswertung noch viele weitere Teilnehmer:innen verspätet gemeldet haben. Daher wurden die Ergebnisse unter Betrachtung aller Rückmeldungen neu berechnet. Ein vorläufiger Teil der ersten Umfrage wurde bereits veröffentlicht (Ohlei, Bundt, et al., 2019).

3.1 Studie 2018

Die erste Studie wurde am 02.07.2018 gestartet und die Antworten wurden bis zum 19.11.2018 gesammelt. Im Rahmen der Studie wurden 800 E-Mails an Museen in Deutschland verschickt. Insgesamt haben 175 Museumsmitarbeiter:innen den Fragebogen beantwortet. Von den 175 Antworten haben 96 Teilnehmer:innen den Fragebogen vollständig ausgefüllt und 79 Teilnehmer:innen haben die Bearbeitung im Verlauf der Umfrage abgebrochen. In den folgenden Statistiken werden nur die Teilnehmer:innen betrachtet (N=96), welche den Fragebogen vollständig ausgefüllt haben.

In der Umfrage wurden drei Themenbereiche befragt:

1. Themenbereich – Allgemeine Fragen:

- demografische Fragen
- aufgabenbezogene Fragen
- Technikerfahrungen und Erfahrungen in der Nutzung von 3D-Software
- verfügbare Geräte bei der Arbeit

2. Themenbereich – Fragen zum Einsatz von digitaler Technik:

- Für wie sinnvoll halten Sie den Einsatz von digitaler Technik?
- Für wie sinnvoll halten Sie den Einsatz von AR?
- Was sehen Sie für Vorteile in der Nutzung von AR im Museum?
- Was sehen Sie für Nachteile bei der Nutzung von AR im Museum?
- Wird AR aktuell bereits eingesetzt bzw. ist es geplant?

3. Themenbereich – Fragen zur Besucherforschung:

- Wie wird Besucherforschung bei Ihnen im Museum betrieben?
- Was wünschen Sie sich ergänzend an Möglichkeiten zur Besucherforschung?
- Welche Funktionen halten Sie bei einem Besucherforschungssystem für wichtig?

3.1.1 Allgemeine Fragen

Im folgenden Abschnitt werden die Antworten zu den Fragen des ersten Themenbereiches vorgestellt. Von den Teilnehmer:innen waren 56 weiblich, 39 männlich, und eine Person beantwortete die Frage nicht. Das Alter der Teilnehmer:innen reichte von 26 bis 72 Jahren ($M=45.26$; $SD=11.55$). Bei der Frage nach der Rolle der Studienteilnehmer:innen in dem Museum gab es folgende Rückmeldungen:

- 34 Museumsdirektor:innen
- 17 Kurator:innen
- 3 Ausstellungskurator:innen
- 3 Ausstellungsgestalter:innen
- 7 Museumspädagoginnen und Museumspädagogen
- 2 Besucherservice
- 33 hatten gemischte Berufsbezeichnungen (sonstiges)
- 3 beantworteten die Frage nicht

Die mittlere interaktionsbezogene Technikaffinität (ATI-Wert) der gemessenen Teilnehmer:innen betrug 3.97 (Skala: 1 bis 6; SD=0,34). In der Berechnung wurden nur die Teilnehmer:innen berücksichtigt, die alle Angaben zu dem ATI-Fragebogen komplett ausgefüllt haben (n=90; N=96). Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnehmer:innen einen höheren ATI-Wert hatten als die Allgemeinbevölkerung, bei der ein Wert von 3,5 erwartet werden kann (Franke et al., 2019).



Abbildung 5: Antworten der Teilnehmer:innen zu der Frage, wie groß sie Ihr Museum einschätzen. Antworten wurden auf einer 5-Stufigen Likert-Skala gegeben wobei 1 „gehört zu den kleinsten Museen Deutschlands“ bedeutet und 5 „gehört zu den größten Museen Deutschlands“ (N=96).

Bei der Frage, wie groß die Teilnehmer:innen ihr Museum einschätzen, konnten sie eine 5-Stufige Likert-Skala ausfüllen. Dabei stand die 1 für „gehört zu den kleinsten Museen Deutschlands“ und die 5 für „gehört zu den größten Museen Deutschlands“ (siehe Abb. 5). Die Ergebnisse zeigen, dass ein großer Teil der Rückmeldungen aus Museen kommen, die sich eher zu den kleinsten Museen Deutschlands zählen oder zu den etwas Kleineren (54%, N=96).

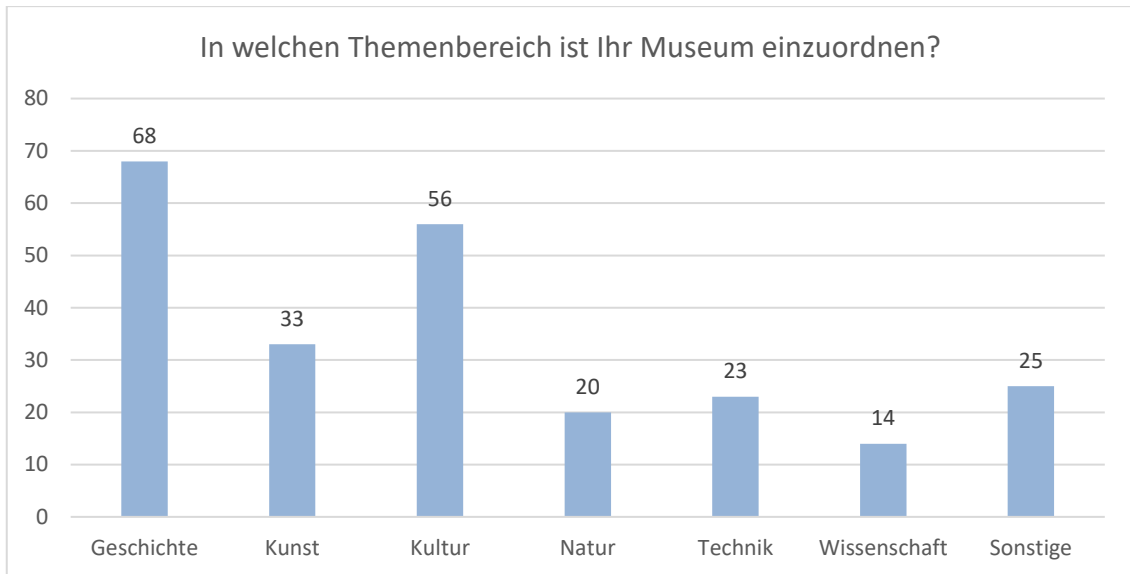


Abbildung 6: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, in welchen Themenbereich das Museum einzuordnen ist (N=96).

Bei der Frage nach dem Themenbereich, in dem das Museum der Teilnehmer:innen einzuordnen ist, konnten die Teilnehmer:innen Einträge aus einer vordefinierten Liste auswählen oder das Feld „Sonstige“ anwählen und eine Freitextantwort geben (siehe Abb. 6). Eine Mehrfachauswahl war in diesem Bereich möglich. Bei der Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich, dass sich ein großer Teil der Museen mit dem Thema Geschichte (71%, N=96) und Kultur (58%, N=96) befassen.

In der nächsten Frage ging es darum festzustellen, wie hoch der Anteil der Teilnehmer:innen ist, der sich mit der Entwicklung von Ausstellungen befasst. Antworten zu dieser Frage geben Aufschluss darüber, wie relevant die Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu den weiteren Fragen in Bezug auf die Gestaltung von den Ausstellungen sind.

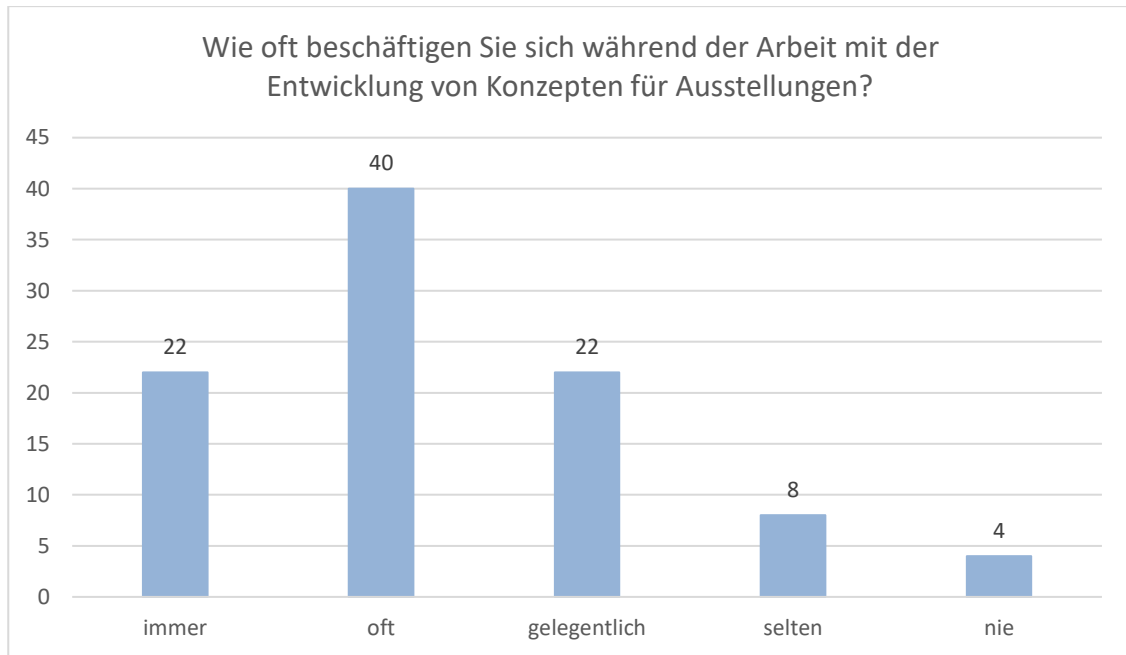


Abbildung 7: Rückmeldungen zu der Frage, wie oft sich die Teilnehmer:innen während der Arbeit damit befassen, Konzepte für Ausstellungen zu entwickeln (N=96).

Die Rückmeldungen zu der Frage, wie oft sich die Teilnehmer:innen mit der Konzeption von Ausstellungen befassen zeigt, dass der Großteil der Befragten (88%, N=96) sich mit der Aufgabe immer, oft oder gelegentlich befassen und ein geringer Teil (12%, N=96) selten oder nie (siehe Abb. 7). Neben der Konzeption von Ausstellungen gibt es noch die Aufgabe der optischen Gestaltung der Ausstellungen. Um festzustellen, welcher Teil der Teilnehmer:innen sich mit dieser Aufgabe befasst, wurde eine zusätzliche Frage ergänzt.

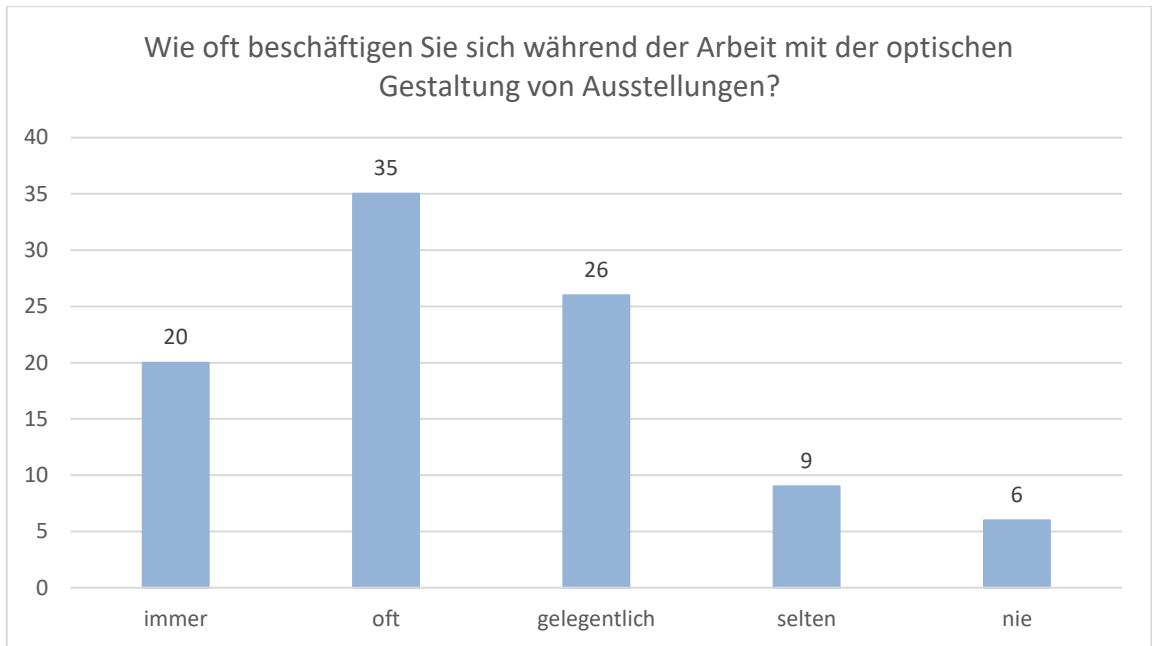


Abbildung 8: Rückmeldungen zu der Frage, wie oft sich die Teilnehmer:innen während der Arbeit damit befassen, Ausstellungen optisch zu gestalten (N=96).

Die Frage danach, wie oft sich die Teilnehmer:innen während der Arbeit mit der optischen Gestaltung der Ausstellung befassen hat ergeben, dass sich ein Großteil (84%, N=96) mit der Aufgabe immer, oft oder gelegentlich befasst und ein kleiner Teil (16%, N=96) selten oder nie (siehe Abb. 8). Die Rückmeldungen zu den Fragen zeigen, dass die Teilnehmer:innen sehr vertraut mit der Ausstellungsgestaltung sind. Dies ist wichtig, da sich die weiteren Fragen unter anderem auf das AR-Autorensystem beziehen, die sich im Museumskontext primär an Museumsmitarbeiter:innen, welche die Kuratoren-Rolle einnehmen, richtet.

Die nächsten Fragen beziehen sich auf die Technikerfahrungen und Erfahrungen in der Nutzung von 3D-Software. Zunächst wurde danach gefragt, wie umfangreich die Erfahrungen der Teilnehmer:innen mit Smartphones, Tablets und Datenbrillen sind. Pro Geräteklasse konnten die Teilnehmer:innen jeweils eine 5-stufige Likert-Skala beantworten, wobei die „1“ - „kenne ich nicht“ und die „5“ - „ich bin Experte“ bedeutet (siehe Abb. 9).

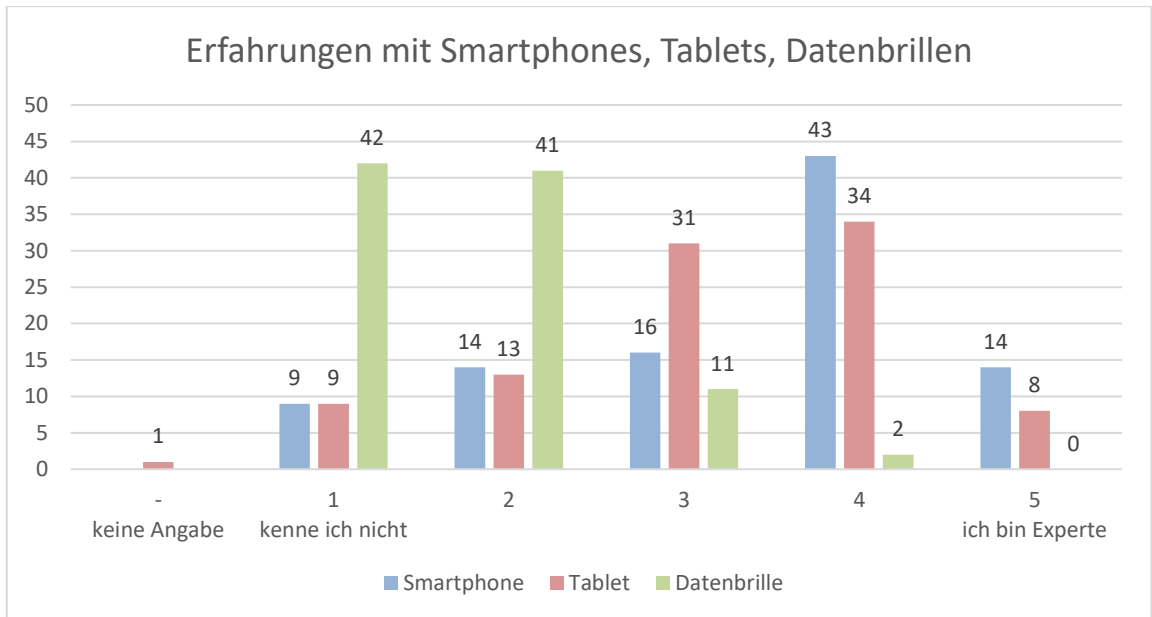


Abbildung 9: Rückmeldungen zu den Fragen, wie die Teilnehmer:innen ihre generelle Erfahrung mit Smartphones, Tablets und Datenbrillen einschätzen (N=96).

Die Rückmeldungen zu den Fragen zeigen, dass ein Großteil der Teilnehmer:innen sich als erfahren im Umgang mit Smartphones und Tablets sieht. Das Alter der Teilnehmer:innen, welche angegeben haben, dass sie Smartphones nicht kennen, lag bei durchschnittlich 46,7 Jahren (SD=15,7). Bei der Rückmeldung zur Erfahrung in Bezug auf Datenbrillen geben nahezu die Hälfte der Teilnehmer:innen (44%) an, dass sie diese gar nicht kennen.

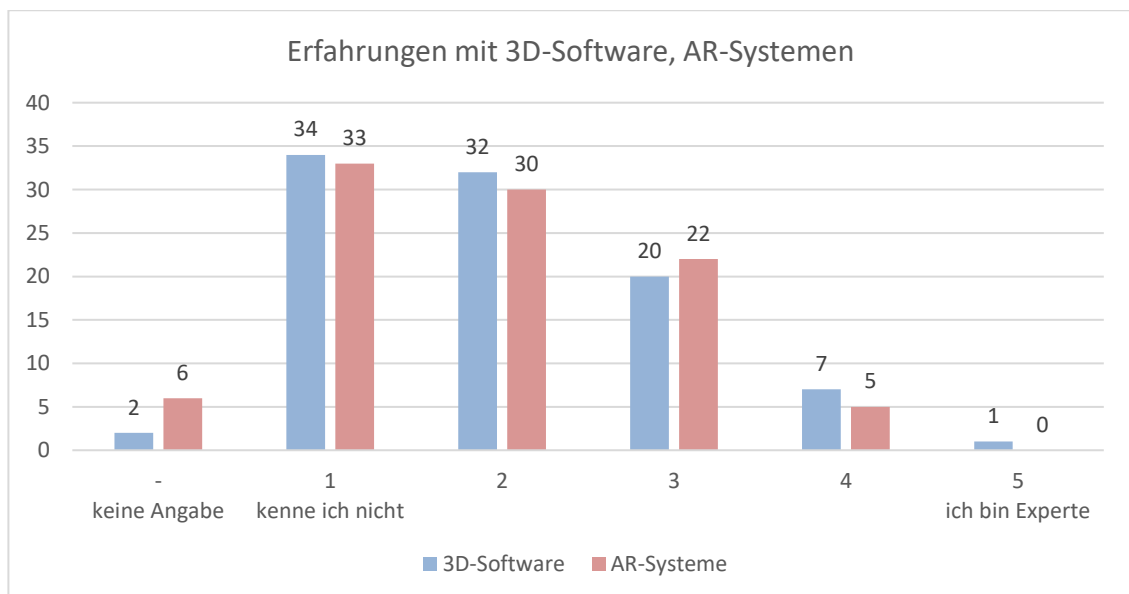


Abbildung 10: Rückmeldungen zu den Fragen, wie die Teilnehmer:innen ihre generelle Erfahrung mit 3D-Software (Blender, SketchUp, Unity, Autodesk, AutoCAD, Fusion) und AR-Systemen einschätzen (N=96).

In der nächsten Frage ging es darum, eine Selbsteinschätzung der Teilnehmer:innen zu ihren Erfahrungen mit aktueller 3D-Software (Blender, SketchUp, Unity, Autodesk, AutoCAD, Fusion 360, ...) zu erhalten (siehe Abb. 10). Ein großer Teil der Teilnehmer:innen gab an, sich mit den Systemen nicht auszukennen (35%, N=96). Hingegen gibt es auch einen großen Teil an Teilnehmer:innen, die sich in unterschiedlicher Tiefe zumindest etwas mit den Systemen auskennen (65%, N=96). Bei den Fragen bezüglich der Selbsteinschätzung zu den Erfahrungen mit Augmented Reality-Anwendungen sind die Rückmeldungen der Teilnehmer:innen nahezu identisch.

3.1.2 Fragen zum Einsatz von digitaler Technik

Im folgenden Abschnitt werden die Fragen zum Einsatz digitaler Technik den Museen vorgestellt.

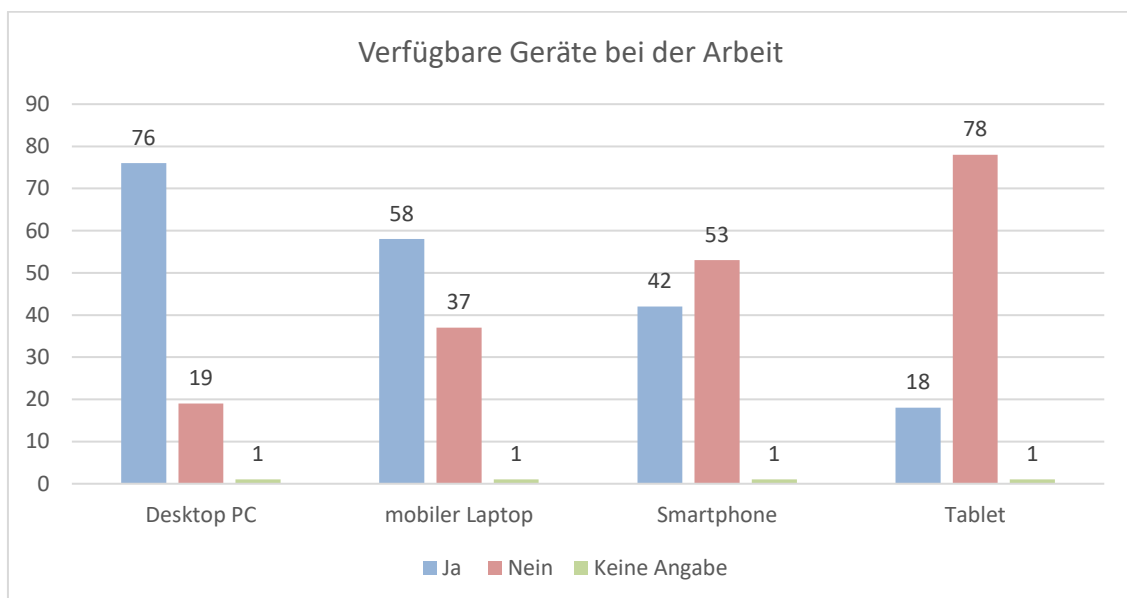


Abbildung 11: Rückmeldungen zu den Fragen, welche Technik den Teilnehmer:innen bei der Arbeit zur Verfügung steht (N=96).

In der nächsten Frage sollte geklärt werden, welche Geräte die Teilnehmer:innen bei der Arbeit zur Verfügung haben (siehe Abb. 11). Die Rückmeldungen hierzu zeigen, dass ein Großteil der Teilnehmer:innen (79%, N=96) einen PC am Arbeitsplatz nutzen können. Bei der Betrachtung der Untergruppe der Teilnehmer:innen, die keinen PC zur Verfügung haben, gaben 12 Teilnehmer:innen (n=20, N=96) an, einen mobilen Laptop nutzen zu können. Insgesamt haben dadurch nur 6 der gesamten Teilnehmer:innen (6%, N=96) weder einen PC noch einen Laptop zur Ver-

fügung. Der Frage, ob den Teilnehmer:innen ein Smartphone während der Arbeit zur Verfügung steht, haben weniger als die Hälfte (43%, N=96) zugestimmt.

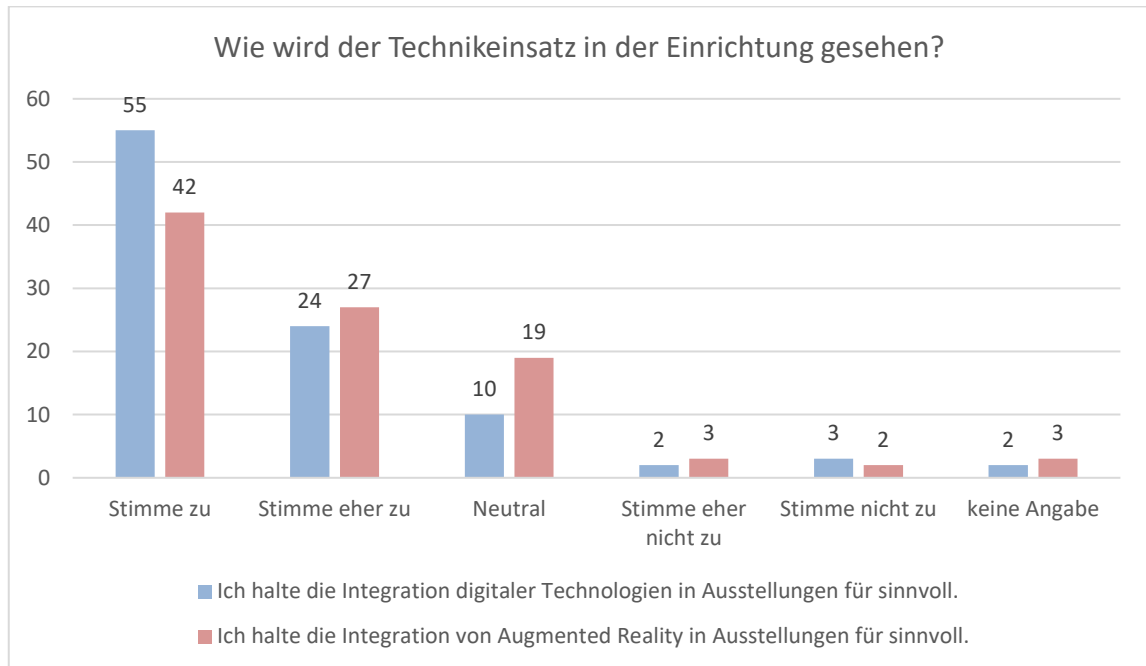


Abbildung 12: Rückmeldungen zu den Fragen, wie sehr die Teilnehmer:innen den Einsatz digitaler Technologien bzw. die Integration von AR in Ausstellungen für sinnvoll halten (N=96).

Im zweiten Themenbereich bezogen sich die ersten Fragen, auf die Beurteilung des Technikeinsatzes im Museum (siehe Abb. 12). Bei der Frage, für wie sinnvoll die Teilnehmer:innen die Integration digitaler Technologien halten, gab ein großer Teil der Teilnehmer:innen (82%, N=96) an, zuzustimmen bzw. eher zuzustimmen. Nur ein kleiner Teil der Teilnehmer:innen stimmte nicht zu oder eher nicht zu (5%). Bei der Frage, für wie sinnvoll die Teilnehmer:innen die Integration von Augmented Reality in der Ausstellung halten, gaben ebenfalls ein großer Teil (72%, N=96) der Teilnehmer:innen an, dass sie dem zustimmten oder eher zustimmten und nur ein kleiner Teil der Teilnehmer:innen stimmte nicht zu oder eher nicht zu (5%, N=96).

Im nächsten Abschnitt der Umfrage wurden die Teilnehmer:innen befragt, welche Vorteile und welche Nachteile sie in der virtuellen Erweiterung von Ausstellungen durch Augmented Reality-Technologien sehen. Antworten zu den Fragen wurden im Freitextformat abgegeben. Um sicherzustellen, dass alle Teilnehmer:innen wissen, worum es sich bei der AR-Technologie handelt, wurde vorab ein Video in den Fragebogen eingebunden, das den Einsatz von AR visuell illustriert. Die Antworten waren sehr vielseitig und es haben fast alle Teilnehmer:innen (96%, N=96) auf die beiden Fragen geantwortet. Bei der Frage zu den Vorteilen in der virtuellen Erweiterung von Ausstellungen durch Augmented Reality-Technologien wurden vier Antwortbe-

reiche identifiziert. Zu jedem Antwortbereich wurden die wesentlichen Aussagen zusammengefasst. Diese werden im Folgenden dargestellt:

Interaktionen:

- Greifbarkeit und Interaktion mit musealen Inhalten, die aus konservatorischen Gründen nicht angefasst werden dürfen
- Objekte können vergrößert und "benutzt" werden

Neue Zielgruppen:

- Neue Zielgruppen gewinnen
- Begeisterung jugendlichen Publikums
- Zugänge zu Exponaten für Besuchergruppen mit Einschränkungen

Inhaltliche Verbesserung:

- Rekonstruktions-Ansichten sind möglich
- Darstellungen nicht mehr vorhandener Exponate
- Demonstration nicht physischer Inhalte
- Komplexere Ansichten ermöglichen
- Leichtere Verständlichkeit komplexer Themen
- Textfreie und dennoch nachhaltige Vermittlung von Inhalten
- Inhaltliche Vertiefung selbststeuerbar
- Größere historische Kontextualisierung möglich

Raumnutzung:

- Optimale Raumnutzung auch für kleinere Museen
- Informationsreduktion in der Ausstellung

Finanzielle Vorteile:

- Diese Art von Darstellung erleichtert teurere konservatorische Voraussetzungen

Bei der Frage zu den Nachteilen in der virtuellen Erweiterung von Ausstellungen durch Augmented Reality-Technologien wurden vier Antwortbereiche identifiziert. Zu jedem Antwortbereich wurden die wesentlichen Aussagen zusammengefasst. Diese werden im Folgenden dargestellt:

Aufwände:

- hohe Kosten in der Anschaffung
- Betreuungsaufwand, ggf. zusätzliches Personal
- technischer Aufwand
- kostenintensive Wartung
- Erfordert entsprechende Infrastruktur (Hardware, Software, etc.) vom Museum und evtl. vom Besucher
- die technische Halbwertszeit. Die Neugestaltung von Dauerausstellungen ist (bei öffentlichen Trägern) i.d.R. nur alle 20 bis 25 Jahre durchführbar. Dementsprechend muss auch die angewandte/eingesetzte Technik entweder ein Vierteljahrhundert durchhalten oder aber so einfach und kostengünstig ersetzbar sein, dass eine Instandsetzung aus dem laufenden Etat / der "Portokasse" problemlos möglich ist.

Inhaltliche Herausforderungen:

- Das reale Objekt rückt ggf. in den Hintergrund
- Probleme hinsichtlich der Umsetzung von Authentizität
- Transport von Mutmaßungen z.B. bei Rekonstruktionen und dadurch das nachhaltige Erzeugen eines Bildes in der Öffentlichkeit, das u.U. schon in wenigen Jahren nicht mehr dem Forschungsstand entspricht, sich jedoch in der öffentlichen Wahrnehmung festgesetzt hat.

Technische Herausforderungen:

- Defekte Installationen sind kontraproduktiv und rufschädigend
- Technik ist immer störanfällig
- Die Technologien sind oft noch nicht richtig ausgereift, sodass ein reibungsloser Ablauf gewährleistet ist.

Besucherreaktionen:

- Berührungängste seitens der Besucher:innen
- Überforderung der Besucher:innen durch zu viel Technik
- Nicht für alle Besucher:innen zugänglich
- Inhalte müssen auch ohne AR verständlich sein
- Ablenkungen von den Originalen

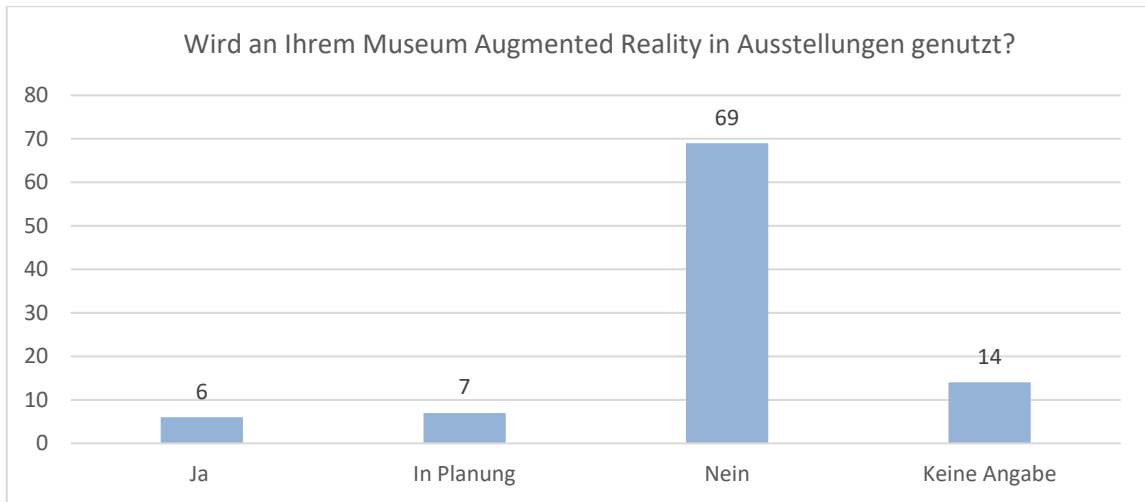


Abbildung 13: Rückmeldung zu der Frage, ob in der Einrichtung, in der die Teilnehmer:innen beschäftigt sind, AR in der Ausstellung genutzt wird (N=96).

Anschließend wurde die Frage gestellt, ob Augmented Reality (AR) bereits in der Ausstellung eingesetzt wird oder ob der Einsatz bereits geplant ist (siehe Abb. 13). Insgesamt gab nur ein kleiner Teil der Teilnehmer:innen an (6%), dass AR bereits in der Ausstellung eingesetzt wird. Ebenfalls nur ein kleiner Teil (7%) gab an, dass es geplant sei AR in der Ausstellung einzusetzen.

3.1.3 Fragen zur Besucherforschung

Im nächsten Abschnitt der Umfrage wurden Fragen zum Thema Besucherforschung gestellt. Die Erste Frage bezog sich darauf, welche Informationen von der Einrichtung bereits gesammelt werden. Die Antworten konnten im Freitextformat eingegeben werden. Sich wiederholende Antworten wurden in der Auswertung zusammengefasst. Folgende unterschiedliche Methoden zur Besucherforschung, welche von den Einrichtungen bereits erhoben werden, wurden dabei herausgestellt:

- Altersgruppen
- Besucherzahlen
- Gästebuch
- Besuchsdauer
- Postleitzahl, Nationalität
- gelegentlich detaillierte Besucherbefragungen
- Häufigkeit des Besuchs, Geschlecht, Interessen, Besuchsanlass
- Gespräche mit Besucher:innen

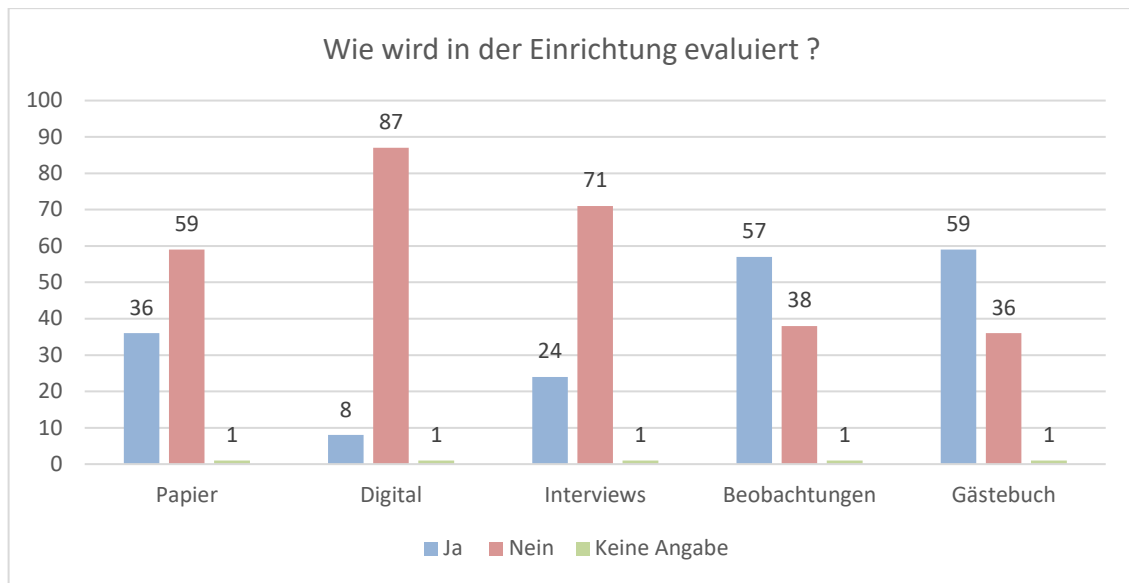


Abbildung 14: Rückmeldung der Teilnehmer:innen zu der Frage, wie in der Einrichtung, in der sie beschäftigt sind, Evaluationsdaten gesammelt werden (N=96).

In der nächsten Frage ging es darum festzustellen, wie in der Einrichtung evaluiert wird (siehe Abb. 14). Dazu standen die Möglichkeiten Papier, Digital, Interviews, Beobachtungen, Gästebuch und Sonstiges zur Auswahl. Eine Mehrfachnennung war ebenfalls möglich. Am häufigsten wurde das Gästebuch (61%, N=96), die Beobachtungen (59%, N=96) und Befragungen auf Papier (38%, N=96) angegeben. Unter dem Punkt „Sonstiges“ wurden Ergebnisse, die sich wiederholt haben, zusammengefasst. Als Rückmeldungen ergaben sich folgende Punkte:

- Kasse
- Besucherbuch
- Buchungsprogramm
- Feedbackkasten

In der nächsten Frage wurde erhoben, welche Informationen die Teilnehmer:innen gerne noch von den Besucher:innen wissen möchten und weshalb. Die Antworten zu dieser Frage konnten im Freitextformat angegeben werden. Insgesamt machten 60 Teilnehmer eine Aussage zu der Frage. Die Rückmeldungen wurden inhaltlich zusammengefasst. Dabei ergaben sich vier Antwortbereiche:

Verlauf des Besuchs:

- Verweildauer
- Vorlieben und Verhaltensweisen im Museum
- Rezeptionen einzelner Bereiche (Eye-Tracking)

- Welche Abteilung wird bevorzugt besucht
- Wegstrecken der Besucher:innen

Meinungen der Besucher:innen:

- Wie es den Besuchern:innen gefallen hat
- Kritik und Verbesserungsvorschläge
- Wünsche nach zusätzlichen Angeboten
- Wie sehr die Erwartungen erfüllt wurden
- High-Lights und Low-Lights des Besuchs
- Besonders interessante Themen und Objekte

Grund für den Besuch:

- Gründe für den Besuch
- Wie sind Sie auf das Museum aufmerksam geworden

Demographie:

- Personenbezogene Daten
- Woher kommen die Besucher:innen
- Wie alt sind die Besucher:innen
- Besuchen Sie das Museum allein oder mit Partner und Kind

In der nächsten Frage wurde erhoben, welche Wünsche die Teilnehmer:innen an die Funktionen einer Evaluationssoftware für Besucherdaten haben bzw. welche Fragen sie durch die Daten beantwortet haben möchten. Diese Frage konnte im Freitextformat beantwortet werden. Insgesamt haben fünf Teilnehmer:innen die Frage beantwortet. Die Antworten wurden zu folgenden Punkten zusammengefasst:

- Interessens-Schwerpunkte; Altersstruktur; Besuchergruppen; Wünsche
- Was suchen die Besucher:innen im Museum? Bildung? Erlebnis? Eine Verbindung aus beidem?
- Korrelation: Vorbildung/Bildung - Erwartung - Erfüllung dieser
- in welchem Maß eine Affinität zu neuen digitalen Angeboten besteht

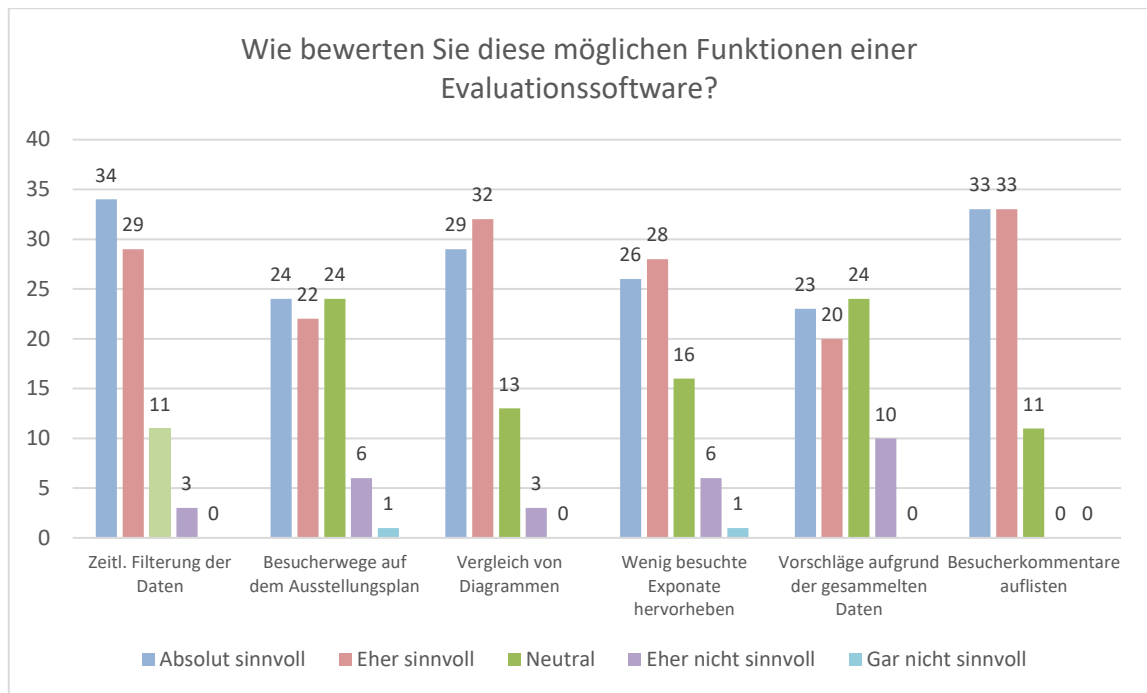


Abbildung 15: Antworten zu der Frage nach der Bewertung unterschiedlicher Funktionen einer Evaluationssoftware. Antworten konnten auf einer 5-Stufigen Likert-Skala gegeben werden (n=77, N=96).

In der nächsten Frage wurde erhoben, wie die Teilnehmer:innen fünf vorgeschlagene Funktionen bei einer Evaluationssoftware bewerten. Die Antworten konnten auf einer 5-Stufigen Likert-Skala gegeben werden (siehe Abb. 15). Zu jeder Frage konnte eine eigene Bewertung abgegeben werden. In der Auswertung wurden nur die Aussagen der Teilnehmer:innen aufgenommen, die Aussagen zu allen Funktionen gemacht haben (n=77, N=96).

3.2 Studie 2020

Die zweite Studie lief vom 03.06.2020 bis zum 13.07.2020. Im Rahmen der Studie wurden 1627 E-Mails an Museen in Deutschland verschickt. Insgesamt haben 345 Museumsmitarbeiter:innen den Fragebogen beantwortet. Von den Antworten haben 149 Teilnehmer:innen den Fragebogen vollständig ausgefüllt und 196 Teilnehmer:innen haben die Bearbeitung im Verlauf der Umfrage abgebrochen. In den folgenden Statistiken werden nur die Teilnehmer:innen betrachtet (N=149), welche den Fragebogen vollständig ausgefüllt haben.

In der Umfrage wurden drei Themenbereiche befragt:

1. Teilbereich

- Demografische Daten

2. Teilbereich

- Fragen zum Thema Augmented Reality

3. Teilbereich

- Fragen zur Besucherführung im Museum

3. Teilbereich

- Fragen zur Mehrsprachigkeit in den Museen

3.2.1 Allgemeine Fragen

Im folgenden Abschnitt werden die Antworten zu den Fragen des ersten Themenbereiches vorgestellt. Von den Teilnehmer:innen waren 87 weiblich, 57 männlich und fünf Personen beantworteten die Frage nicht. Das Alter der Teilnehmer:innen reichte von 27 bis 86 Jahren ($M=49.78$; $SD=13.19$). Bei der Frage nach der Rolle der Studienteilnehmer:innen im Museum gab es folgende Rückmeldungen:

- 54 Direktor:innen
- 11 Kurator:innen
- 10 Ausstellungskurator:innen
- 4 Ausstellungsgestalter:innen
- 15 Museumspädagoginnen und Museumspädagogen
- 8 Besucherservice
- 47 hatten gemischte Berufsbezeichnungen (sonstiges)

Bei der Frage nach der Berufserfahrung in Jahren lag die Spanne der Angaben zwischen einem Jahr und 60 Jahren ($M= 16.16$; $SD=11.24$).

3.2.2 Fragen zum Thema Augmented Reality

Im folgenden Abschnitt werden die Fragen zum Thema Augmented Reality vorgestellt.

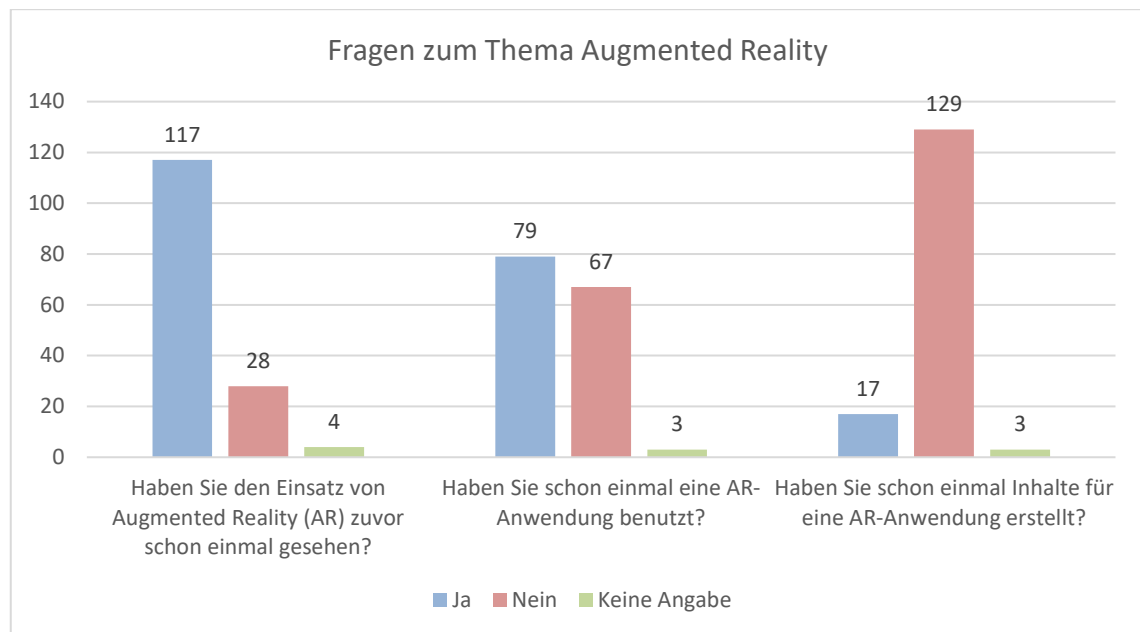


Abbildung 16: Antworten der Teilnehmer:innen zu Fragen im Themenbereich Augmented Reality (N=149).

Zu den Fragen, ob die Teilnehmer:innen den Einsatz von Augmented Reality (AR) zuvor schon einmal gesehen haben, ob die Teilnehmer:innen zuvor schon einmal eine AR-Anwendung genutzt haben und ob die Teilnehmer:innen zuvor schon einmal Inhalte für eine AR-Anwendung erstellt haben, konnten jeweils „Ja“ oder „Nein“ angegeben werden. Alternativ konnte auch keine Angabe zu der Frage gemacht werden (siehe Abb. 16). Die Teilnehmer:innen, welche eine AR-App im Museum anbieten, wurden zusätzlich gefragt:

- wie sie die Besucher:innen auf die AR-Inhalte aufmerksam machen,
- worüber die AR-Inhalte abgerufen werden können,
- ob die Exponate mit AR-Anreicherungen besonders gekennzeichnet werden,
- wie viele Exponate der Bereich (ca.) umfasst, in dem AR genutzt wird.

Da es aber nur eine Person gab, die nur auf Teile der Fragen geantwortet hat, wird die Rückmeldung an dieser Stelle nicht ausgewertet.

Zu der Frage, ob es einen Bereich in der Ausstellung gibt, in der sich die Teilnehmer:innen vorstellen können AR einzusetzen, beantworteten 98 die Frage mit „Ja“, 20 mit „Nein“ und 32 machten keine Angabe.

Die Frage, wie viele Exponate der Bereich ungefähr umfasst, in dem sich die Teilnehmer:innen vorstellen können AR zu nutzen, haben 90 Teilnehmer:innen (N=149) beantwortet. Es wurde angegeben, dass sich durchschnittlich 141 Objekte in dem jeweiligen Bereich befinden (SD=299, Min=1, Max=2000, n=90, N=149).

Die Frage, bei wie vielen dieser Ausstellungsstücke eine AR-Anreicherung für sinnvoll gehalten wird, haben 90 Teilnehmer:innen (N=149) beantwortet. Es wurde als sinnvoll erachtet, dass durchschnittlich 41.38% der Ausstellungsstücke mit AR-Anreicherungen versehen werden (SD=35.48 %, Min=1, Max=100, n=90, N=149).

Bei der Frage, ob sich der Teil der Ausstellungen über mehrere Etagen erstreckt, gaben 42 Teilnehmer:innen „Ja“ an, „55“ Nein und 52 machten keine Angabe (N=149). Sieben Teilnehmer:innen haben auf diese Frage geantwortet, obwohl die beiden vorigen Fragen nur teilweise beantwortet wurden.

3.2.3 Fragen zur aktuellen Besucherführung

Im folgenden Abschnitt werden die für diese Arbeit relevanten Fragen zur Besucherführung der Umfrage dargestellt.

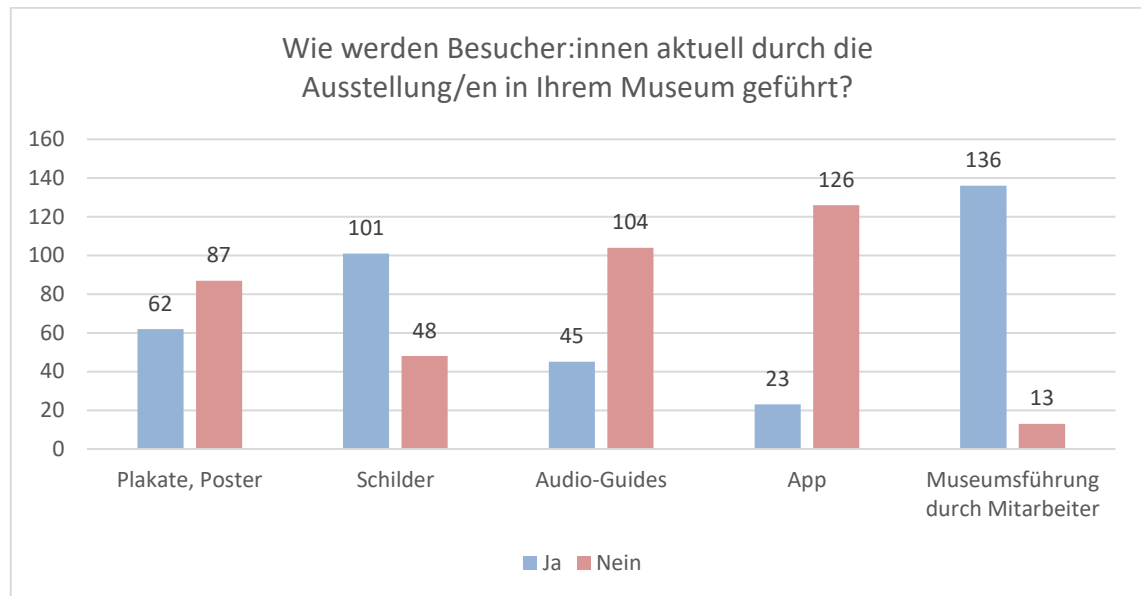


Abbildung 17: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu den fünf Fragen, wie die Besucher:innen aktuell durch die Ausstellung/en in dem Museum geführt werden (N=149).

Bei der Frage, wie die Besucher:innen aktuell durch die Ausstellung/en geführt werden, wurden die Antwortmöglichkeiten Plakate oder Poster, Schilder, Audio-Guides, App, Museumsführung durch Mitarbeiter und Sonstiges angeboten (siehe Abb. 17). Als Antwortmöglichkeiten konnten die Teilnehmer:innen jeweils „Ja“ oder „Nein“ auswählen. Außerdem konnten die Teilnehmer:innen das Feld „Sonstiges“ mit einem Freitext ausfüllen. In diesem Feld machten 23 Teilnehmer:innen Angaben, die im Folgenden zusammengefasst werden:

- Texttafeln, Wandtexte, Fahnen
- Filme
- Audiostationen
- QR-Codes
- Infoheft
- Eigenständiges Erkunden, unbetreut
- Medientische
- Wegeplan
- Web-App

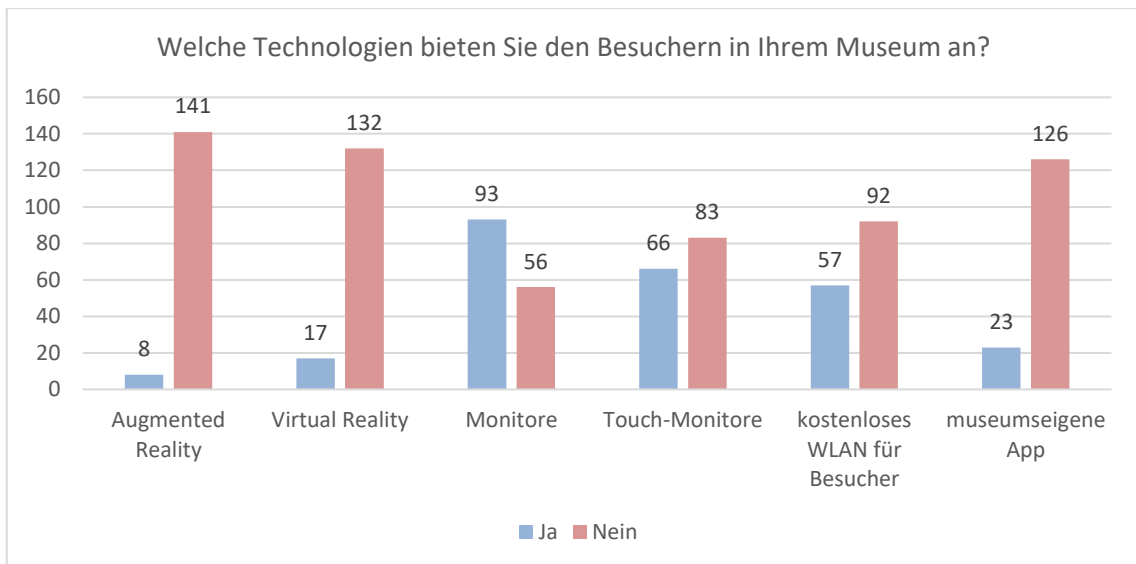


Abbildung 18: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, welche Technologien sie ihren Besuchern anbieten (N=149).

Bei der Frage, welche Technologien die Teilnehmer:innen ihren Besucher:innen im Museum anbieten, wurde nach den Technologien Augmented Reality, Virtual Reality, Monitore, Touch-Monitore, kostenloses WLAN für Besucher:innen, museumseigene App gefragt (siehe Abb. 18). Die Teilnehmer:innen konnten zu den Technologien jeweils „Ja“ oder „Nein“ angeben. Außerdem konnten die Teilnehmer:innen das Feld „Sonstiges“ mit einem Freitext ausfüllen. In diesem Feld machten 35 Teilnehmer:innen Angaben, die im Folgenden zusammengefasst werden:

- Hörstationen
- Ton-Bild-Projektion
- 3D-Player, Filme
- Tablets
- QR-Codes
- Museumskino
- Medienstationen

3.2.4 Fragen zur Mehrsprachigkeit in Museen

Im Folgenden Abschnitt werden die für diese Arbeit relevanten Fragen zur Mehrsprachigkeit in Museen der Umfrage dargestellt.

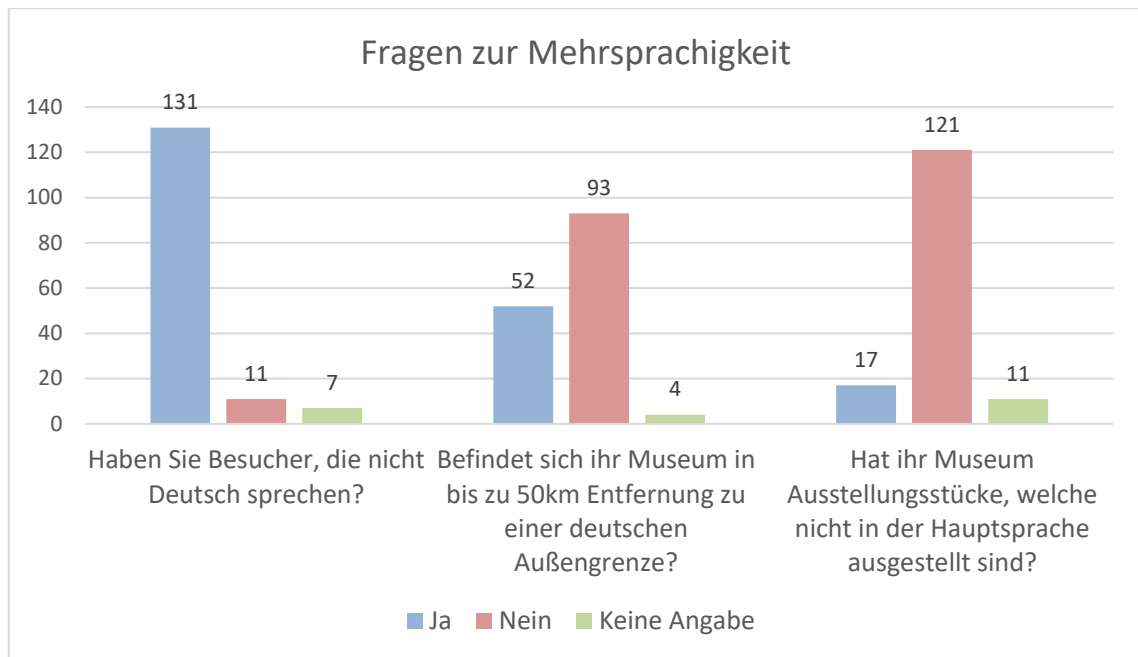


Abbildung 19: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu Fragen zur Mehrsprachigkeit (N=149).

Bei den Fragen:

- Befindet sich ihr Museum in bis zu 50km Entfernung zu einer deutschen Außengrenze?
- Hat ihr Museum Ausstellungsstücke, welche nicht in der Hauptsprache ausgestellt sind?
- Haben Sie Besucher:innen, die nicht Deutsch sprechen?

konnten die Teilnehmer:innen mit „Ja“, „Nein“ oder „Keine Angabe“ antworten. Die Rückmeldungen werden in Abb. 19 dargestellt. Zu der Frage „Haben Sie Besucher:innen, die nicht Deutsch sprechen?“ wurde ergänzend nach einer Schätzung gefragt, wieviel Prozent diese Besucher:innen in dem Museum ausmachen. Die Teilnehmer:innen, die auf diese Frage geantwortet haben (n=126, N=149) gaben durchschnittlich 12.44% (SD=12.27; n=126) an.

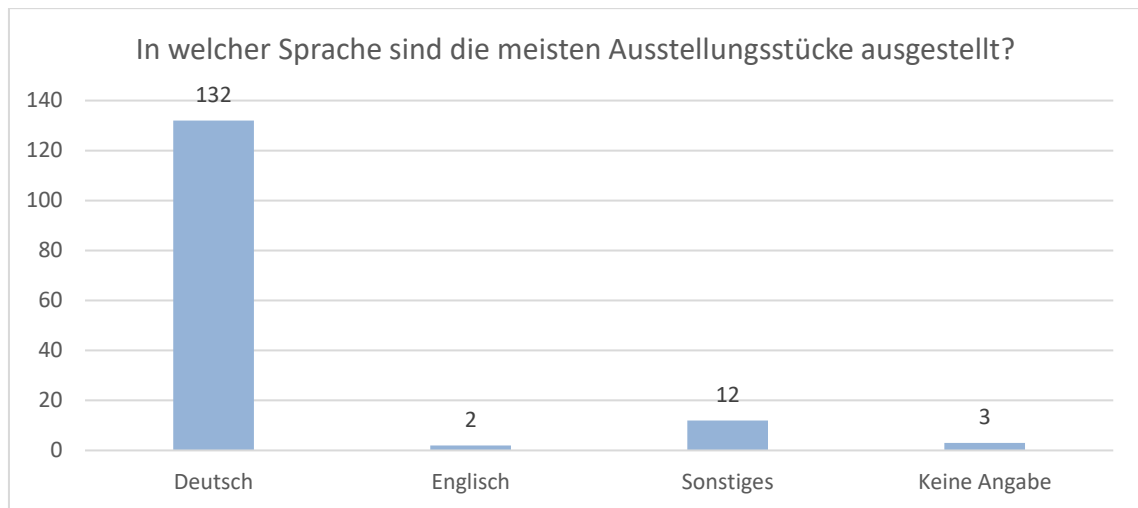


Abbildung 20: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, in welcher Sprache die meisten Ausstellungsstücke ausgestellt sind (N=149).

Bei der Frage, in welcher Sprache die meisten Ausstellungsstücke ausgestellt sind, konnten die Teilnehmer:innen als Antwort Deutsch, Englisch, Sonstiges und keine Angabe angeben. Die Rückmeldungen werden in Abb. 20 dargestellt. Ein Großteil der Teilnehmer:innen (89%, N=149) gaben an, dass die Ausstellungsstücke in Deutsch ausgestellt sind. Bei der Auswahl von „Sonstiges“ konnten die Teilnehmer:innen ein zusätzliches Feld mit einem Freitext ausfüllen. In diesem Feld machten 12 Teilnehmer:innen Angaben. Die Angaben waren jeweils Kombinationen von Deutsch, Englisch, Französisch, Spanisch, Dänisch. Es gab eine Rückmeldung, bei der eine Person angegeben hat, dass es gar keine Beschriftungen gab. Außerdem gab es eine Rückmeldung, dass es in einem Museum eine Handreichung gibt, welche in sechs verschiedenen Sprachen verfügbar ist. Fragen, die sich darauf beziehen, welche Medien (Texte, Videos, Audio-Dateien) zusätzlich in einer Fremdsprache angeboten werden, waren ebenfalls Teil der Umfrage. Diese werden jedoch nicht mit aufgeführt, da die Antworten nur eine geringe Relevanz für diese Arbeit haben.

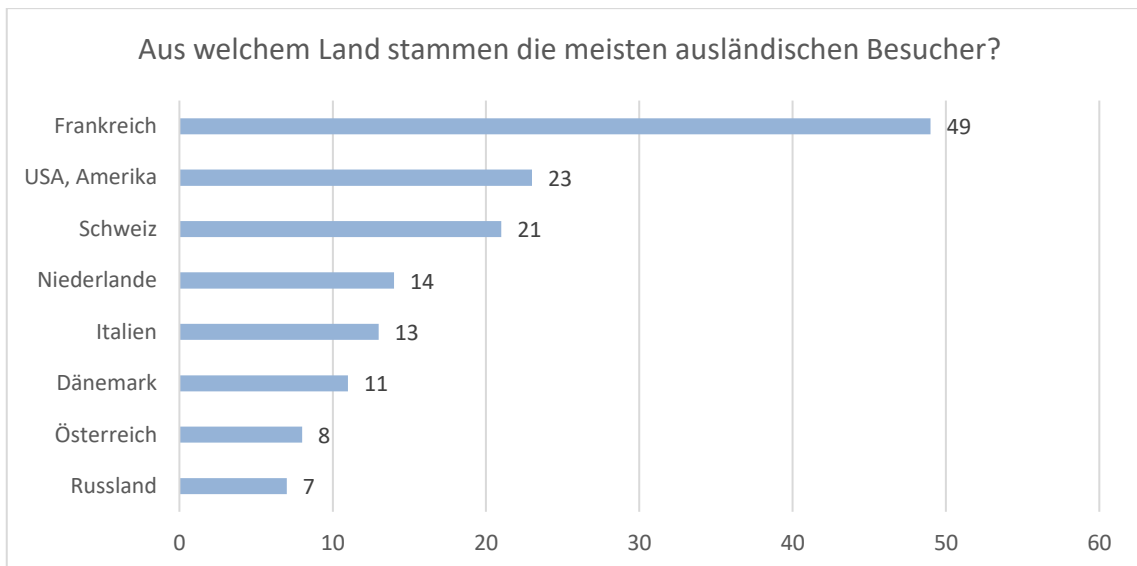


Abbildung 21: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, aus welchem Land die meisten ausländischen Besucher:innen stammen. Eine Mehrfachauswahl ist möglich. Bei den Rückmeldungen werden nur die Länder mit mindestens 5 Rückmeldungen dargestellt (n=114, N=149).

Bei der Frage, aus welchem Land die meisten ausländischen Besucher:innen stammen, konnten die Teilnehmer:innen mit einem Freitext antworten. Es war auch möglich mehrere Länder anzugeben. Insgesamt antworteten 114 Teilnehmer:innen auf die Frage (N=149). Viele Länder wurden nur von 1-2 Teilnehmer:innen genannt. Für die Ermittlung der relevanten Sprachen sind die Länder von hoher Bedeutung, die von vielen Teilnehmern:innen genannt wurden. Daher wurden in der Auswertung nur die Länder aufgenommen, die mindestens fünf Mal genannt wurden (siehe Abb. 21).

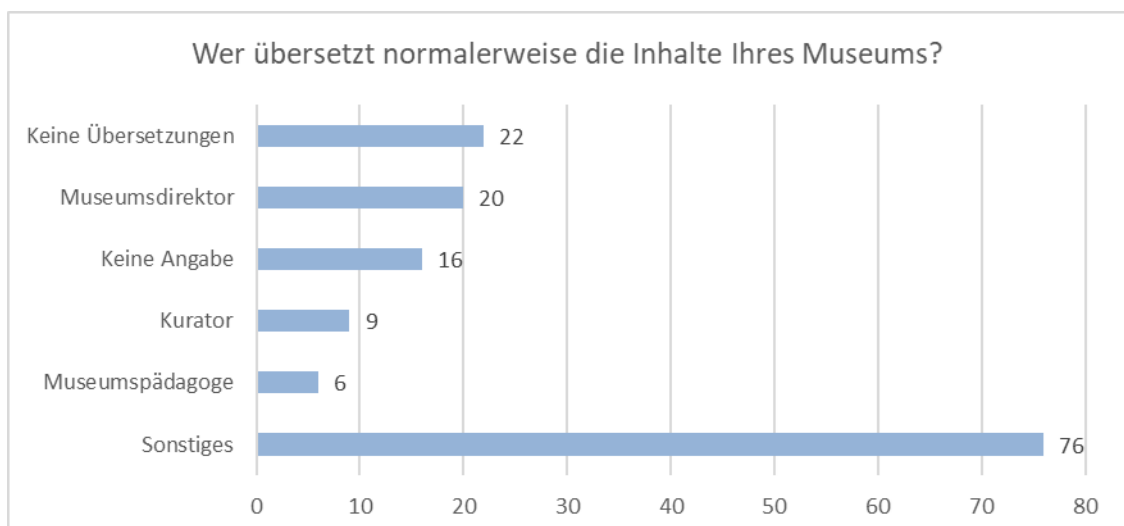


Abbildung 22: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, wer normalerweise die Inhalte des Museums übersetzt (N=149).

Bei der Frage wer normalerweise die Inhalte des Museums übersetzt konnten die Teilnehmer:innen mit Museumsdirektor:innen, Museumspädagoginnen oder Museumspädagogen, Kurator:innen, keine Übersetzungen, Sonstige und keine Angabe antworten (siehe Abb. 22). Nach der Auswahl des Feldes „Sonstige“ konnten die Teilnehmer:innen ein zusätzliches Freitextfeld ausfüllen. Von den 76 sonstigen Rückmeldungen haben 58 Teilnehmer:innen angegeben, dass sie einen professionellen Übersetzer bzw. ein Übersetzungsbüro beauftragen. Fragen, die sich darauf beziehen, welche Übersetzungsdienste die Teilnehmer:innen kennen (Google Translate, Amazon Translate) und ob sie diese nutzen, waren ebenfalls Teil der Umfrage. Diese werden jedoch nicht mit aufgeführt, da die Antworten nur eine geringe Relevanz für diese Arbeit haben.

3.3 Fazit

Bei der Betrachtung der Teilnehmergruppen beider Studien zeigt sich eine breite Altersverteilung und eine ähnliche Verteilung bei den Geschlechtern der Teilnehmer:innen. Das zeigt, dass die Umfragen altersgruppen- und geschlechterübergreifend gemacht wurden. Ein großer Anteil der Studienteilnehmer:innen der Studie aus dem Jahr 2018 befassen sich mit der Ausstellungsgestaltung (88%, N=96). Dies deutet auf eine hohe Relevanz der Rückmeldungen zu den Fragen hin, da sie von Personen gemacht wurden, die sich mit der Ausstellungsgestaltung gut auskennen. Außerdem zeigt sich in einer Studie aus dem Jahr 2018, dass sich viele Teilnehmer:innen mit dem Einsatz von Smartphones und Tablets gut auskennen. Bei der Betrachtung der mittleren interaktionsbezogenen Technikaffinität (ATI-Wert) der Studie von 2018 zeigt sich, dass die Teilnehmer:innen der Umfrage einen leicht erhöhten ATI-Wert (3.97) in Bezug auf der Allgemeinbevölkerung haben (3,50). In den Ergebnissen der Studie aus 2018 zeigt sich, dass nahezu allen Teilnehmer:innen (94%, N=96) entweder ein PC oder ein Laptop als Arbeitsgerät zur Verfügung stehen. Dies zeigt, dass für die Teilnehmer grundsätzlich ein Gerät zur Gestaltung von AR-Inhalten zur Verfügung steht und auch das technische Grundverständnis zum Einsatz der Technik vorhanden ist.

Bei der Frage, für wie sinnvoll die Teilnehmer:innen die Integration digitaler Technologien halten, gab ein großer Teil der Teilnehmer:innen (82%, N=96) an, dass sie dem zustimmen oder eher zustimmen. Bei der Frage, für wie sinnvoll die Teilnehmer:innen die Integration von Augmented Reality in der Ausstellung halten, gab ebenfalls ein großer Teil (72%, N=96) Teilnehmer:innen an, dass sie dem zustimmen oder eher zustimmen. Diese Daten deuten darauf hin, dass der AR-Einsatz im Museum als nahezu genauso sinnvoll erachtet wird wie der Einsatz von digitaler Technik im Allgemeinen.

4 Ambient Learning Spaces

Ambient Learning Spaces (ALS) wurde als eine digitale Lehr- und Lernumgebung konzipiert. Das Projekt zielt darauf ab, allgegenwärtiges und kontextualisiertes Lehren und Lernen zu ermöglichen (Herczeg et al., 2019). Um dieses Ziel umzusetzen wurde eine Plattform konzipiert und prototypisch umgesetzt, welche verschiedene interaktive Lernanwendungen mit Geräten wie Mobiles, Wearables, Tangibles, immersive Installationen wie Wände, Tische, Domes sowie AR und VR-Systeme verbindet. Alle ALS-Lernanwendungen sind mit dem *Multimedia Repository Network Environment for Multimedia Objects* (NEMO) verbunden. Die Konzeption von NEMO umfasst außerdem eine Vernetzung von NEMO Instanzen miteinander, über die sich Schulen und Museen institutionsübergreifend Medien und Anwendungsinhalte miteinander teilen können (Herczeg, 2021; Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

4.1 Lehren innerhalb der Schule

Der Unterricht in der Schule ist eine alte aber gut kultivierte Form der systematischen Bildung. Auch wenn neue flexible Formen der Bildung wie beispielsweise Homeschooling hinzukommen, wird die Schule als primärer Lernort für das Lehren, Lernen und Sozialisieren beibehalten. Lösungen für zukünftiges digitales Lehren und Lernen sollten daher nicht nur den Zugriff innerhalb der Schule ermöglichen, sondern für offenere Situationen umgestaltet werden (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021). Primäre Lernorte innerhalb einer Schule sind:

- Klassenräume
- Gruppenräume
- Foyers
- Theater
- 360 Grad Kinos (Domes)

4.2 Lehren außerhalb der Schule

Der schulische Unterricht bringt viele Nachteile für die Motivation und Authentizität mit sich. Außerschulisches Lernen zu Hause, in der Stadt, in der Industrie oder in der Natur kann einige dieser Nachteile ausgleichen, erfordert aber eine gewisse Flexibilität der Lerninfrastrukturen (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021). Außerschulische Lernorte sind:

- Das Zuhause der Schüler:innen
- städtische, industrielle und natürliche Umgebungen
- Museen und Archive

In Verbindung mit der ALS-Plattform können Museen und Archive dazu genutzt werden, um Schüler:innen die Möglichkeit zu geben, mit der ALS Smartphone App MoLES Unterrichtsrelevante Fragestellungen zu bearbeiten. Dabei kann MoLES genutzt werden um Fotos, Videos, Audioaufnahmen und Notizen in kleinen Schülergruppen anzulegen und projektbezogen in NEMO zu speichern. Anschließend können die Schüler:innen diese Inhalte zu Hause verarbeiten und aus den gesammelten Medien Bildersammlungen, Videos oder 3D-Objekte erzeugen. Nach der Besprechung der Ergebnisse im Rahmen des Unterrichts und der Bestätigung durch das Museum oder das Archiv können die Arbeiten anschließend in Form von Bildschirmpräsentationen oder AR-Touren für das Smartphone im entsprechenden Museum oder Archiv ausgestellt werden. Durch die Vernetzung der ALS-Systeme miteinander können Medieninhalte zwischen Institutionen ausgetauscht und institutionsübergreifende Projekte gestaltet werden.

4.3 ALS-Systemkontexte

Ausgehend von den vorgestellten Lehr- und Lernkontexten kann eine starke Verbindung zwischen der physischen Welt verbunden mit den Körpern und den sozialen Realitäten der Lernenden festgestellt werden. In den letzten Jahren wurden viele neue Geräte und interaktionsformen entwickelt, welche die Nutzer:innen sogar körperlich einbinden (siehe Abb. 23). Beispielsweise werden Informationen zu dem Puls, dem Standort und den täglichen Schritten von Smartwatches erfasst und können am PC ausgewertet werden. Die Nutzer:innen können so informiert werden, wenn sie sich eine gewisse Zeit zu wenig bewegt haben (Kim et al., 2018). Über periphere Geräte wie Amazon Echo können per Sprachbefehl unterschiedliche Geräte im Haushalt gesteuert werden und darüber hinaus noch weitere komplexere Aufgaben ausgeführt werden (Yue & Ping, 2017). Lernanwendungen, welche die Möglichkeiten der neuen Schnittstellen nutzen haben das größte Potenzial, das Lernen in den Schulkontexten zu unterstützen und vor

allein einen authentischen körperlichen und geistigen Bezug zur "Lebenswelt" herzustellen (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021; Lob et al., 2010; Winkler et al., 2010).

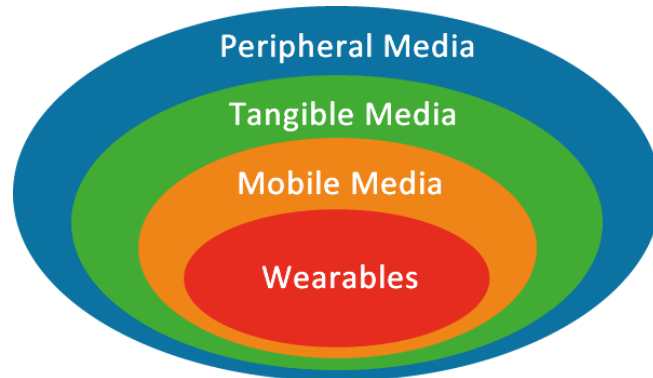


Abbildung 23: Schalenmodell von allgegenwärtigen Medien, welche in ALS genutzt werden (Herczeg, Ohlei, & Schumacher, 2021; Winkler et al., 2011).

ALS ist eine digitale Lehr- und Lernumgebung, welche die oben genannten Formen des kontextualisierten Lernens implementiert. Dies wird durch die Verbindung zu dem zentralen gemeinschaftlichen Speichersystem NEMO erreicht. Basierend auf dem Schalenmodell aus Abb. 23 wurde eine kontextualisierte Anwendungsstruktur entwickelt, die eine Klassifizierung der Lehr- und Lernanwendungen von ALS ermöglicht (siehe Abb. 24) (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

Ortsbezogene Medien Dialogisches und interaktives Gegenüber		Ortsunabhängige Medien Erweitertes Selbst	
Periphere Medien	Be-greifbare Medien	Mobile Medien	Wearables
Act ^e Motion	Interactive Wall MediaGallery TimeLine SemCor HyperVid	MoLES InfoGrid	Smart Fashion

Abbildung 24: Standortbezogene (stationäre) und ortsunabhängige (mobile) ALS-Anwendungen (Bild aus Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

4.4 Die ALS Lehr- und Lernmodule

Ambient Learning Spaces (ALS) ist eine Lehr- und Lerninfrastruktur, welche modulare Frontend-Anwendungen für stationäre und mobile Computersysteme bereitstellt. Alle ALS-Anwendungen sind mit dem semantisch modellierten Multimedia Speichersystem *Network Environment for Multimedia Objects* (NEMO) verbunden. Durch die Bereitstellung von Web-

Services durch NEMO lässt sich die ALS-Infrastruktur durch weitere Lehr- und Lernanwendungen flexibel erweitern (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

4.4.1 Die Wearables und Mobiles von ALS

Bildung durch soziale Aktivitäten ist ein konstruktivistischer Ansatz (siehe Abschnitt 1.2), um individuelles Wissen innerhalb einer Kulturgemeinschaft zu entwickeln. Lernende verlassen die Schule und begeben sich in den städtischen oder industriellen Raum, in Naturumgebungen oder Orte, an denen Kollektionen aufbewahrt werden, wie beispielsweise Museen und Archive. Mit vernetzten mobilen Anwendungen auf Smartphones, Tablets oder Wearables können die Lernenden auch ihre eigenen Geräte im Sinne des *Bring your own device* (BYOD) verwenden (Herczeg et al., 2020). Das BOYD-Prinzip wird in der Literatur primär im Umfeld von Unternehmen untersucht und beschreibt darin die Situation, in der Nutzer:innen ihre eigenen privaten Geräte auch für die Unternehmensnutzung zur Verfügung stellen (Disterer & Kleiner, 2013). Das Prinzip wird aber auch im Schulkontext diskutiert wobei die Lehrer:innen und Schüler:innen ihre eigenen Geräte im Unterricht verwenden. Bei der Untersuchung der Wahrnehmungen von Lehrer:innen, Schüler:innen und Eltern zum BYOD-Prinzip wurde eine Verbesserung der digitalen Fähigkeiten der Schüler und Lehrer festgestellt (Parsons & Adhikari, 2016). Im ALS-Kontext ermöglicht das BYOD-Prinzip den Lernenden die Lernanwendungen auf ihren Geräten mitzuführen, im Kontext zu studieren und Daten sowie Medien für die spätere Behandlung innerhalb der Schule zu übertragen.

Die MoLES (Mobile Learning Exploration System) App bietet eine aufgabenbasierte Lehrumgebung, die Lernende durch Aufgaben und Herausforderungen entlang eines Lernpfades in einem der zuvor genannten außerschulischen Kontexte führt. Die Anwendung wurde über mehrere Jahre in verschiedenen technischen Versionen konzeptioniert, implementiert und evaluiert (Melzer et al., 2007; Guenther et al., 2008; Herczeg et al., 2020; Winkler et al., 2008; Winkler & Herczeg, 2013). Eine Aufgabe kann es dabei sein, Bilder von Pflanzen, Gebäuden oder industriellen Prozessen zu machen. Die Schüler:innen haben dabei die Aufgabe, Recherchen durchzuführen und Daten oder Medien über die Objekte und Kontexte zu speichern. Das machen sie so lange, bis alle Aufgaben erledigt sind. Typischerweise erledigen die Schüler:innen die Aufgaben in kleinen Gruppen von 2-4 Personen (siehe Abb. 25). Dabei diskutieren und entscheiden sie zusammen was gesammelt und gespeichert werden soll (Günther et al., 2008; Winkler et al., 2008). MoLES speichert die Daten und Medien in NEMO für die spätere Nutzung (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

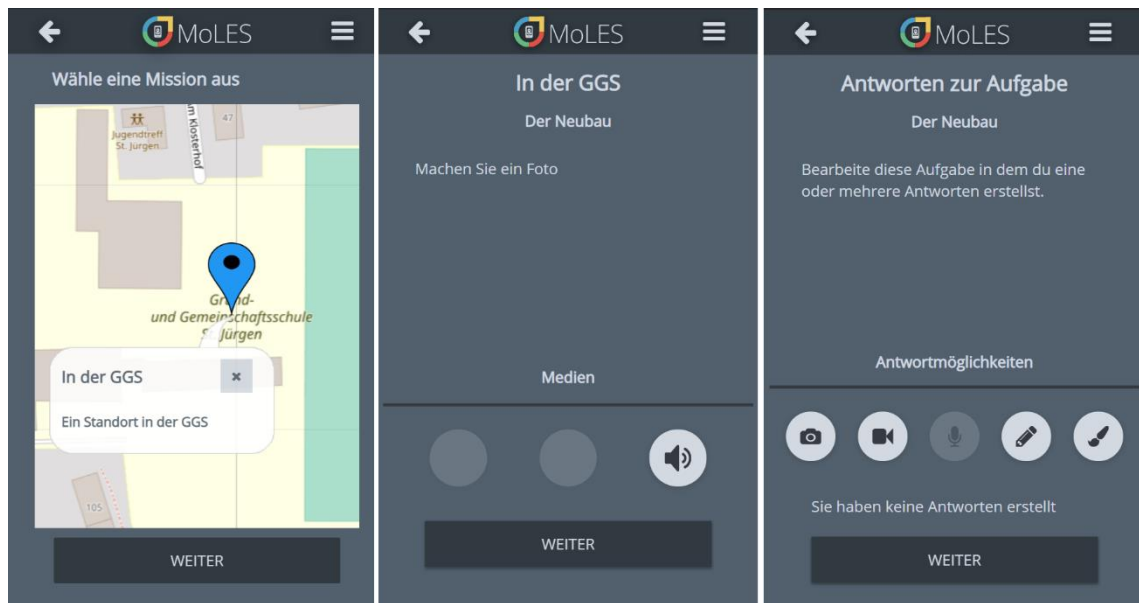


Abbildung 25: Bildschirmfotos der mobilen ALS-Anwendung MoLES. (Links) Auswahl einer Mission über eine Kartenansicht. (Mitte) Ansicht einer Aufgabenstellung, welche mit einer Audiobeschreibung versehen ist. (Rechts) Übersichtsseite, über die die Nutzer:innen ihre Antworten ablegen können. Es stehen mehrere Antwortmöglichkeiten zur Auswahl.

InfoGrid ist ein zentraler Bestandteil des AR-Autorensystems, welches in dieser Arbeit vorgestellt wird. Mit InfoGrid können Museumsbesucher:innen, Schüler:innen und Lehrer:innen die Touren, die über das ALS-Portal erstellt wurden, abrufen und nutzen. InfoGrid kann an allen Orten, an denen zuvor Touren definiert wurden, eingesetzt werden und ermöglicht Museumsbesucher:innen und Schüler:innen die Umgebung zu studieren. Dabei können sie nach Targets suchen, welche digitale, visuelle oder auditive Overlays in Form von Bildern, Videos, Tonaufnahmen sowie statische und animierte 3D-Objekte auf ihren Mobilgeräten aktivieren. Das System kann Museumsbesucher:innen und Schüler:innen außerdem mithilfe einer integrierten Karte durch die Umgebung führen.

4.4.2 Die stationären Installationen und die Tangibles von ALS

Nach der Suche, Diskussion und Sammlung von Daten und Medien aus einem der außerschulischen Kontexte müssen die Schüler:innen ihre Ergebnisse sortieren, um Fragen zu beantworten oder um Abstraktionen von dem, was sie gefunden haben, zu erstellen. Dies kann in einem sozialen Prozess stattfinden, der typischerweise in der Schule mit größeren Endgeräten durchgeführt wird. Um die Ergebnisse darzustellen, können die Schüler:innen große Bildschirme an der Wand, genannt InteractiveWall (IW), verwenden (siehe Abb. 26 und 27) (Winkler et al., 2012, 2017, 2014). Neben der InteractiveWall gibt es den InteractiveTable (IT), welcher die Verwen-

derung von Tangibles (Fiducials) ermöglicht. Dabei handelt es sich um physische Objekte, welche auf den ITs platziert werden können, um mit den Anwendungen zu interagieren, z.B. durch Tagging und durch Filterungen (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

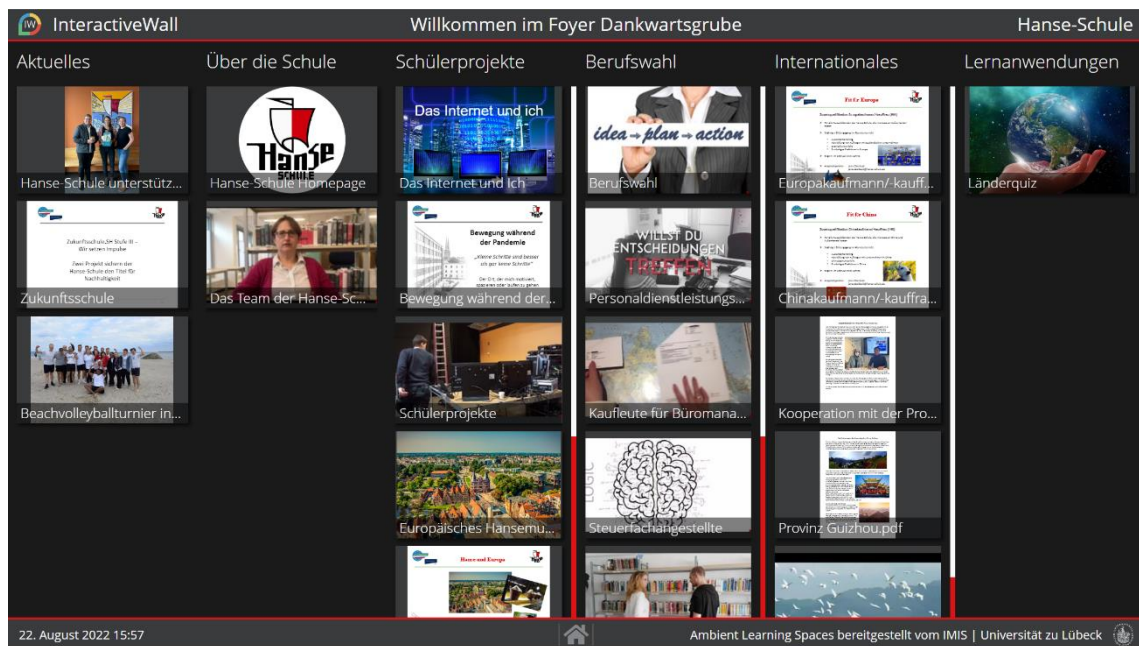


Abbildung 26: Ein Bildschirmfoto der IW-Darstellung, welche in der Hanse-Schule Lübeck im Foyer dargestellt wird.

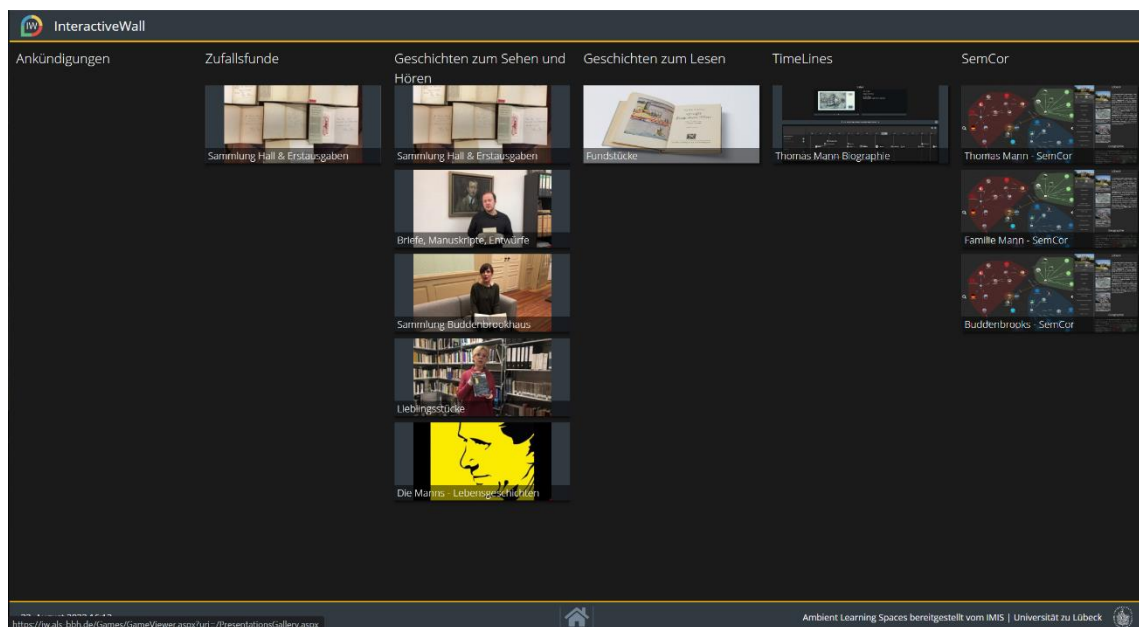


Abbildung 27: Ein Bildschirmfoto der IW-Darstellung, welche im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt in Lübeck dargestellt wird.

Die IW stellt die Anwendung MediaGallery bereit, welche Kollektionen von Medien darstellt. Dies können Sammlungen von Medien sein, welche mit MoLES erstellt wurden. Es können aber auch Kollektionen von ausgewählten, gruppierten, getaggt und klassifizierten Medien sein, welche semantisch mit einer Lerndomäne verbunden sind (siehe Abb. 28)

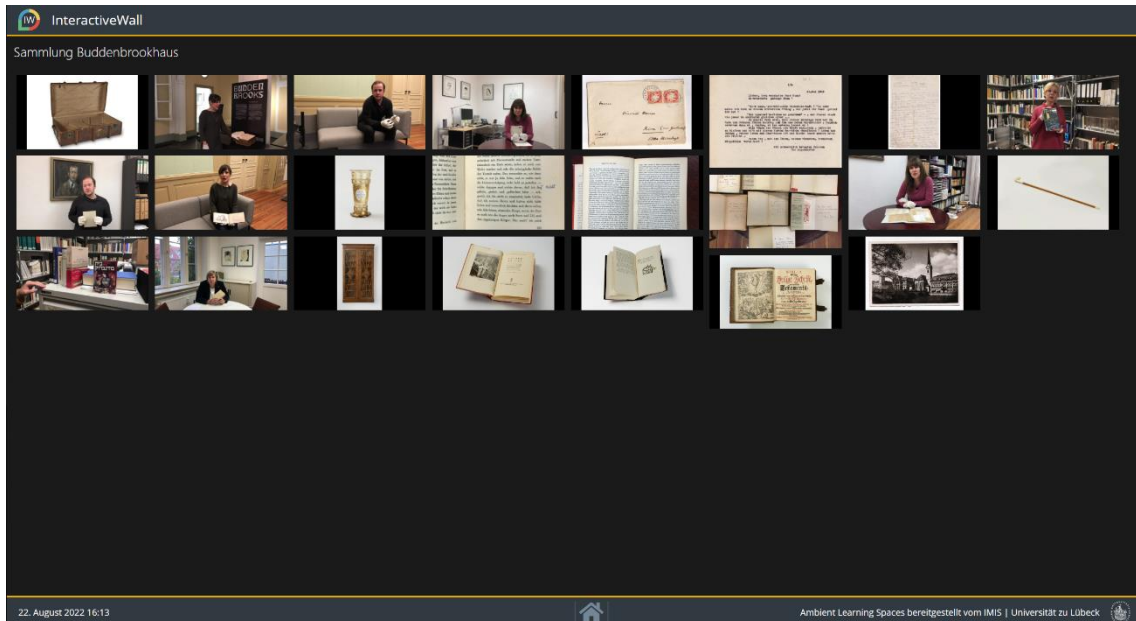


Abbildung 28: Die MediaGallery für Kollektionen an Medien auf der IW, welche in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt in Lübeck aufgebaut wurde.

Aus diesen Kollektionen können Schüler:innen unter Aufsicht von Lehrer:innen in der Schule oder von Eltern zu Hause Präsentationen oder Dokumente erstellen (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021). Lernanwendungen, welche die semantische Modellierung von Wissensselementen (SemCor) und zeitlichen Strukturen (TimeLine) verbunden zu Medienobjekten ermöglichen, können auf der IW und dem IT genutzt werden (Herczeg, Schumacher, et al., 2020).

TimeLine ist eine Anwendung, welche in der IW integriert ist. Sie stellt eine Zeitachse dar und visualisiert Wissensselemente in chronologischem Bezug (Ereignisse). Ereignisse stellen einen Zeitpunkt oder eine Zeitspanne auf dem Zeitstrahl dar und können annotiert werden (siehe Abb. 29). Sie können ebenfalls mit Medien wie Text, Bildern, Audioaufnahmen und Videos aus dem zentralen Speicher NEMO angereichert werden. Die TimeLine kann mit Touch-Interaktionen bedient werden, um den Graphen zu erkunden und um sich Details über die Ereignisse anzeigen zu lassen. Eine TimeLine besteht aus einer oder mehreren Zeitstrahlen entlang einer Zeitachse (z.B. semantische Dimensionen im gleichen Zeitfenster). Beispielsweise können politische Ereignisse parallel zu ökonomischen und technologischen Entwicklungen gezeigt werden. Dies

ermöglicht verschiedene Perspektiven auf die Geschichte und hilft dabei, Fragen zu klären und Ursachen und Zusammenhänge zu erläutern (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

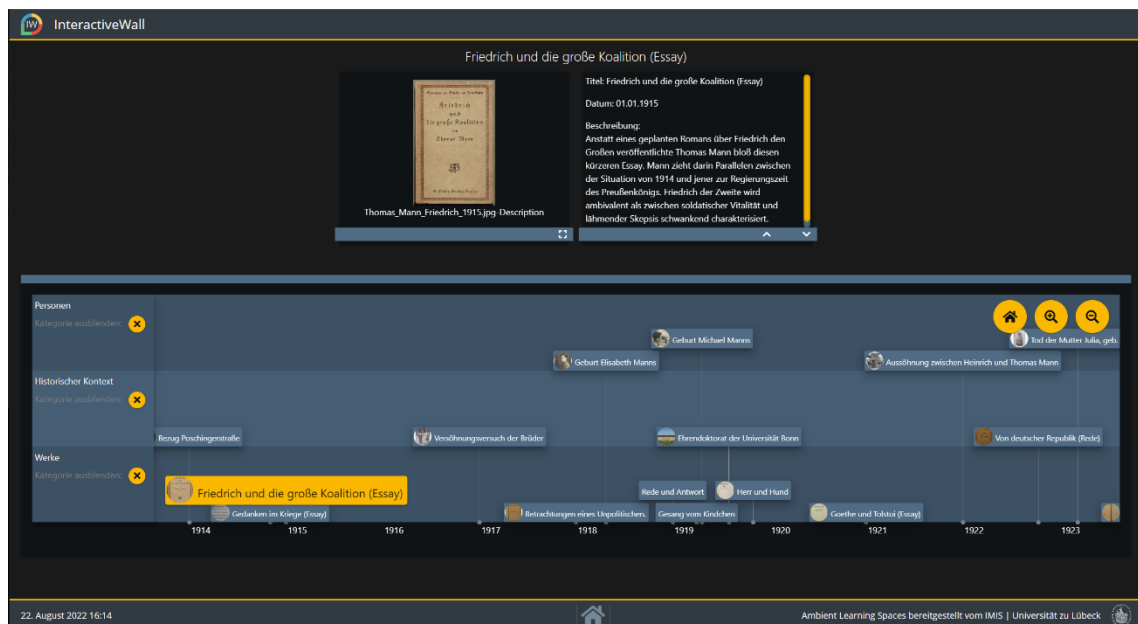


Abbildung 29: Die TimeLine ermöglicht es zeitliche Abläufe darzustellen, welche die Verläufe der Geschichte darstellen.

SemCor ist eine Anwendung für die aktive Suche und Wissenserzeugung innerhalb der IW. Es unterstützt die interaktive Erforschung von semantischen Korrelationen zwischen Wissensselementen, die mit Medien angereichert wurden. Außerdem ermöglicht SemCor, die verbundenen visuellen Repräsentationen von Informationen im Semantic Web zu untersuchen. Schüler:innen können einen Startbegriff oder ein Thema angeben, um nach verbundenen Entitäten zu suchen. Sobald diese gefunden wurden, werden sie in Kategorien gruppiert und in einem gerichteten Graphen dargestellt (siehe Abb. 30). Einzelne Elemente können ausgewählt werden, um den Wissensraum zu erweitern. Wenn ein Wissensselement ausgewählt wird, wird ein weiterer detaillierter Inhalt (z.B. der verbundene Wikipedia-Artikel) dargestellt und kann weiter erforscht werden. SemCor liefert automatisch und dynamisch neue Wissensselemente in dem Graphen, die von den Nutzer:innen ausgewählt werden können. Sie werden intern mit einem bestimmten Algorithmus gesucht, gefiltert und ausgewählt. SemCor stellt die Komplexität des Weltwissens dar und motiviert zum Forschen nach dem Prinzip der Serendipität (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021). Serendipität wird im Duden als „Zufälligkeit einer ursprünglich nicht angestrebten, aber bedeutenden Entdeckung“ definiert. Leong et al. (2005) beschreiben, dass die Serendipität als bedeutsame Erfahrung zufälliger Begegnungen angesehen werden kann. Als anschauliches Beispiel für die Begegnung mit dem Zufall beschreiben sie das Hören von Musik

im Zufalls-Modus. In einer empirischen Studie zu dem Konzept der Serendipität wurde herausgestellt, dass es in der Literatur, über alle Disziplinen hinweg, für seinen Beitrag zur Generierung neuen Wissens weithin anerkannt ist, obwohl es ein schwer zu erforschendes Konzept ist, da es per Definition nicht besonders anfällig für systematische Kontrolle und Vorhersage ist (Foster & Ford, 2003).

The screenshot shows the 'InteractiveWall' interface. On the left, a central node for 'Thomas Mann' is connected to various other nodes representing people and events, such as '1875 bis 1913', '1914 bis 1919', '1929', '1930 bis 1944', and '1945 Lebensbeziehung'. On the right, a sidebar provides a detailed biography of Thomas Mann, including a table of contents and a list of key events and works.

Thomas Mann	
Leben	
1875 bis 1913	
1.1	Frühe Jahre
1.1	1875 bis 1913
1.1.1	Frühe Jahre
1.1.2	Erste Buchveröffentlichungen
1.1.3	Ehe
1.2	1914 bis 1919
1.2.1	Erster Weltkrieg
1.2.2	Weimarer Republik
1.3	Nobelpreis 1929
1.4	1930 bis 1944
1.4.1	„Deutsche Ansprache“
1.4.2	Erste Jahre im Exil
1.4.3	„Wo ich bin, ist Deutschland“
1.4.4	„Deutsche Hörer“
1.4.5	Lebensbeziehung

Abbildung 30: SemCor ermöglicht das Studieren von Ontologie-basierten semantischen Verbindungen.

4.4.3 Das ALS-Portal

Das ALS-Portal kann dazu genutzt werden, um Informationen für alle ALS-Lernanwendungen zu erzeugen, zu bearbeiten und zu verwalten. Nutzer:innen können das ALS-Portal über einen regulären Web-Browser oder der InteractiveWall nutzen. Nach dem Login in das ALS-Portal wird eine Liste aller für die jeweiligen Nutzer:innen freigeschalteten ALS-Anwendungen angezeigt. Die Nutzer:innen können dann damit beginnen Inhalte anzulegen oder zu bearbeiten. Alle Daten, die im ALS-Portal hinterlegt werden, werden in NEMO gespeichert (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

4.4.4 ALS-Werkzeuge

Die ALS-Werkzeuge wurden darauf ausgelegt, die primären Medienarten, welche im Kontext von ALS genutzt werden, bearbeiten zu können. Darunter sind Videodateien, Bilder, Audiodateien und 3D-Objekte. Der benötigte Funktionsumfang der ALS-Werkzeuge wurde zunächst

von dem Nutzungskontext der ALS-Anwendungen abgeleitet und in Studien mit den Partnern aus Museen und Schulen herausgestellt. Durch formative Evaluationen bei der Entwicklung der Anwendungen wurden Probleme bei der Gebrauchstauglichkeit bereits aufgedeckt und überarbeitet. Im Folgenden werden die ALS-Werkzeuge vorgestellt.

VideoEdit: VideoEdit ist ein webbasiertes Werkzeug, das dazu genutzt werden kann, Videodateien zu erzeugen und zu bearbeiten. Nutzer:innen können Bilder und Videos entweder über ihre Mobilgeräte oder von einem Computer aus hochladen. Diese Dateien können dann zu einem neuen Video zusammengefügt werden. VideoEdit unterstützt ebenfalls das Anlegen einer Audiospur sowie von Text-Overlays und bietet die Funktion, die Lautstärke der jeweiligen Elemente bzw. des resultierenden Videos zu verändern. Nachdem das Video in der Anwendung passend zusammengestellt wurde, erstellt NEMO das Video mittels FFmpeg. Das Video kann anschließend in allen ALS-Anwendungen verwendet werden. Außerdem kann VideoEdit auch zum Schneiden von Audiodateien verwendet werden (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

3DEdit: Zunächst bietet das ALS-Portal den Nutzer:innen den 3D-Objekt-Converter als Werkzeug mit dem 3D-Objekte aus 2D-Fotos erzeugt werden (Bouck-Standen et al., 2017; Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018). Diese Anwendung wird insbesondere dafür genutzt, 3D-Objekte für AR- oder VR-Anwendungen zu erstellen. Nach der Erzeugung eines 3D-Objektes kann 3DEdit als webbasiertes Werkzeug dazu genutzt werden, unerwünschte Artefakte zu entfernen, die während der Erzeugung des 3D-Objektes entstanden sind, aber nicht zu dem gewünschten 3D-Objekt gehören. Außerdem kann 3DEdit dazu genutzt werden, die räumliche Positionierung, die Skalierung und die Ausrichtung des 3D-Objektes anzupassen. Nachdem die Bearbeitung abgeschlossen ist, kann das fertige 3D-Objekt in den ALS-Anwendungen MediaGallery oder InfoGrid verwendet werden (Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

ImageEdit: ImageEdit ist ein webbasiertes Werkzeug, das dazu genutzt werden kann, Bilder zu bearbeiten. Zur Bearbeitung eines Bildes können die Nutzer:innen das Bild aus der Mediendatenbank im NEMO-Repository auswählen oder es über den lokalen Computer bzw. einem Smartphone hochladen. Anschließend stehen den Nutzer:innen Funktionen zur Bearbeitung des Bildes zur Verfügung. Dazu zählen das Beschneiden, Rotieren und Skalieren des Bildes. Außerdem können farbliche Veränderungen am Bild durchgeführt werden und es kann zusätzlicher Text in die Grafik eingebunden werden. Sobald die Bearbeitung abgeschlossen ist, kann das Bild in NEMO gespeichert werden und steht anschließend allen ALS-Anwendungen zur Verfügung.

4.5 Die Integrierte ALS-Backend-Plattform NEMO

ALS basiert auf einem zentralen cloud-basierten Backend, dem *Network Environment for Multimedia Objects (NEMO)*.

4.5.1 Die ALS-Systemarchitektur

Die grundlegende ALS-Systemarchitektur wird in Abb. 31 dargestellt. Die Anwendungen kommunizieren über Web-Services mit NEMO. Die meisten Frontend-Anwendungen und Auto-rensysteme sind webbasierte Anwendungen, sodass sie flexibel genutzt werden können. NEMO kann auf einem Server innerhalb oder außerhalb der Schule installiert und betrieben werden. In Abhängigkeit davon, wie intensiv die Systeme genutzt werden, ist bei einem Betrieb außerhalb der Schule jedoch eine ausreichend schnelle Internetverbindung notwendig.

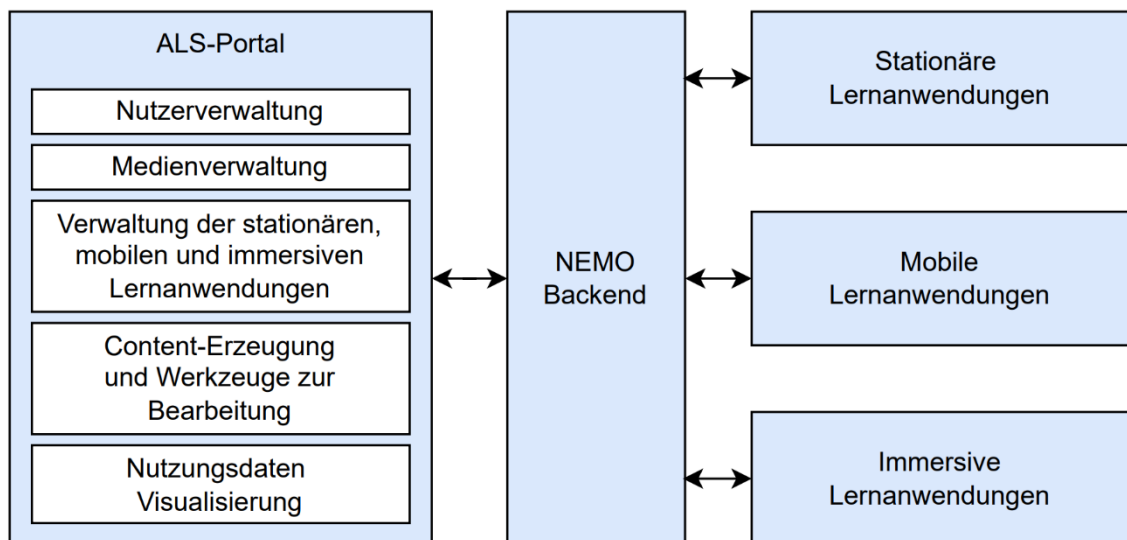


Abbildung 31: Die ALS-Systemarchitektur. NEMO ist zentraler Verbindungspunkt zwischen der ALS-Verwaltung und den ALS-Werkzeugen sowie den ALS-Frontend-Anwendungen.

4.5.2 Dienst-Ebenen und Funktionen von NEMO

NEMO basiert auf einer modularen Architektur, welche auf vernetzten Web-Diensten aufgebaut ist (siehe Abb. 32).

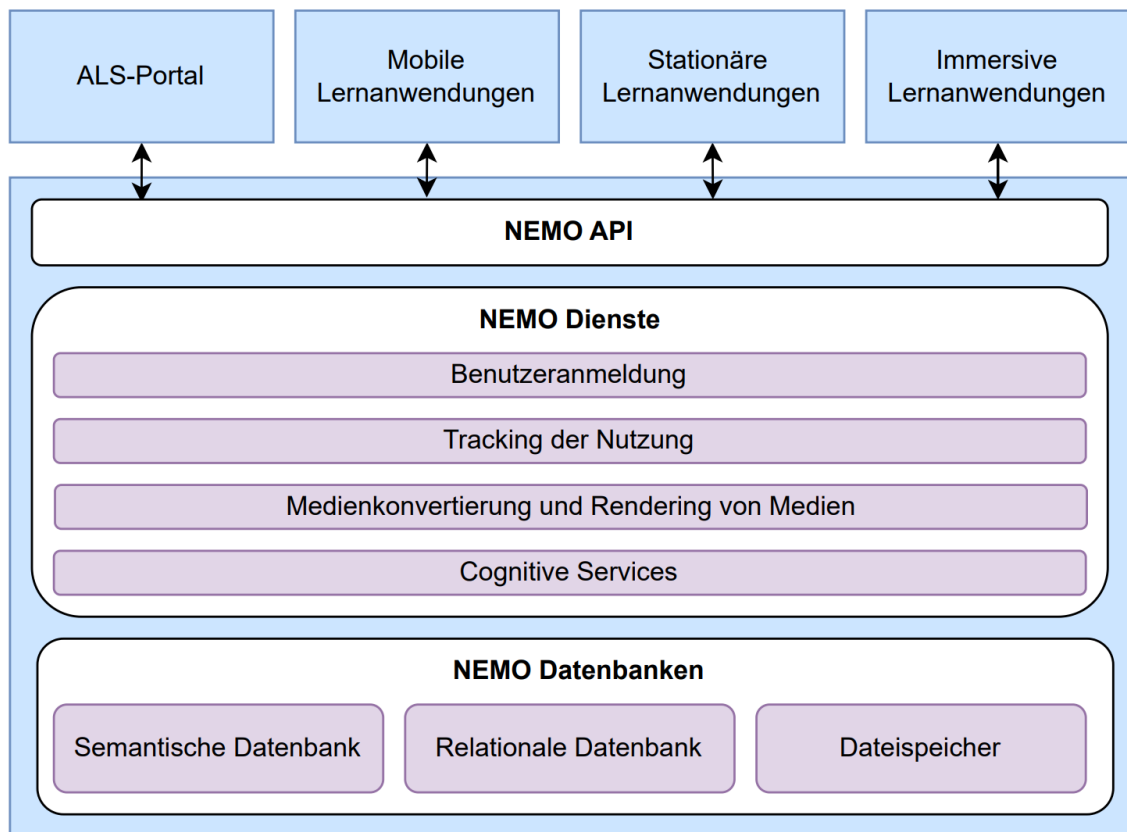


Abbildung 32: Ebenen der NEMO-Dienste.

Benutzeranmeldung: Administrator:innen des ALS-Portals können Institutionen anlegen und Benutzerkonten für Lehrer:innen erzeugen. Mit ihren Konten können Lehrer:innen weitere Konten für Schüler:innen anlegen. Die Lehrer:innen können ebenfalls Schülergruppen oder Projektgruppen anlegen. Abhängig von der Anwendung haben nur die Lehrer:innen die Rechte zum Moderieren und können auf Basis dieser Rechte entscheiden, welche Medien und Projekte, die durch die Schüler:innen erstellt wurden, öffentlich sichtbar gemacht werden.

Tracking der Nutzung: NEMO beinhaltet ein Tracking-Modul, das dazu genutzt werden kann, anonyme Nutzungsstatistiken für alle ALS-Anwendungen zu erzeugen. Um Nutzungsdaten zu untersuchen, bietet das ALS-Portal ein Visualisierungs-Modul. Dieses zeigt die Präferenzen in der Nutzung und weist auf mögliche Probleme hin. Es bietet Statistiken darüber, welche Medienanfragen in welcher Häufigkeit durchgeführt wurden. Dieses System wurde für wissenschaftliche Evaluationen genutzt.

Medienkonvertierung: Der NEMO 3D-Objekt-Converter kann dazu genutzt werden, automatisch 3D-Modelle auf einer Serie von Fotos von physischen Objekten zu erzeugen (Bouck-

Standen et al., 2017). Nutzer:innen können die Bilder und Videos in den Object Converter hochladen, der dann alle Dateien mittels eines photogrammetrischen Prozesses verarbeitet.

Cognitive Services: Wenn Bilder über eine beliebige Anwendung über das ALS-Portal in NEMO geladen werden sollen ist es notwendig, semantische Tags anzugeben. Um diesen Vorgang zu vereinfachen, analysieren die *Cognitive Services* die ausgewählten Medien und erzeugen Tag-Vorschläge für Nutzer:innen. Diese können die Vorschläge übernehmen oder ablehnen. Die *Cognitive Services* Ebene nutzt KI-basierte Methoden.

4.5.3 Die Medienspeicher und Datenbank-Ebene von NEMO

Der zentrale Backend Speicher in NEMO wurde mit einer Logik und einer Datenbankebene implementiert, um einen dauerhaften Speicher für semantisch annotierte Medien bereitzustellen. NEMO ermöglicht dem Lernenden auf die Medien, welche durch die Frontend-Anwendungen erzeugt oder gesammelt wurden, in verschiedenen unterschiedlichen Kontexten zurückzugreifen. Dies ist wichtig, um ein wachsendes Medien-Repository zu erzeugen, das abstrahiert und durch Medien, Annotationen und Klassifikationen angereichert werden kann.

Zentrale Logik: Die zentrale Logik von NEMO enthält Mechanismen, um Medieninhalte in Abhängigkeit von der Anwendung, dem abrufenden Gerät sowie den Inhaberrechten zu speichern und abzurufen. Sie verbindet die NEMO-Dienste mit der Datenbank.

Semantische Datenbank: NEMO nutzt eine semantische Datenbank, um Informationen in einem semantischen RDF-Modell zu speichern. Die Open Source Plattform BrightstarDB wurde für die Implementierung genutzt. Die SPARQL und LINQ-Abfragesprache wurde durch die zentrale Logik genutzt, um auf Inhalte in der Datenbank zurückzugreifen.

Cloud-basiertes Netzwerk: NEMO kann auf einem beliebigen physischen oder virtuellen Computer in einem Netzwerk betrieben werden. Verschiedene NEMO-Instanzen können miteinander verbunden und verschachtelt werden, um Inhalte unabhängig von dem aktuellen Standort anzubieten. NEMO kann als verteiltes cloud-basiertes Speichersystem von semantischen Lehr- und Lerninhalten gesehen werden, welches jede Frontend-Umgebung mit Daten versorgt und dabei die Medienrechte, Inhaberrechte, digitalen Rechte sowie Sicherheitsanforderungen berücksichtigt.

5 Ein AR-Autorensystem für Museen

In diesem Kapitel wird die Architektur für das AR-Autorensystem, welches in Museen eingesetzt werden kann, dargestellt. In dem *Ambient Learning Spaces (ALS)* Forschungsprojekt werden digital angereicherte Körper- und Raumbezogene digitale Lernumgebungen für Schulen und Museen erforscht und prototypisch implementiert (Herczeg et al., 2019; Winkler et al., 2011). In diesen Umgebungen können Nutzer:innen mit den Anwendungen über verschiedene vernetzte mobile und stationäre Anzeigeräte im physischen Raum interagieren, um gemeinsam zu lernen. Im ALS-Kontext bilden körper- und raumbezogene Mensch-Computer-Interaktionen in Kombination mit Cross-Device Interaktionen die konzeptionelle Grundlage. NEMO vernetzt alle ALS-Anwendungen miteinander. Innerhalb von NEMO werden Medien mit ergänzenden semantischen Informationen gespeichert. Zusätzlich werden Informationen zu den Medienrechten ebenfalls in NEMO gespeichert. Alle ALS-Anwendungen können mit NEMO als Logik-Repository sowie als Repository für kontextbezogene Medien zurückgreifen (Ohlei et al., 2020b).

5.1 Grundlagen

Als Zielgruppe für das Autorensystem gelten alle Museumsmitarbeiter:innen, die mit der Gestaltung der Ausstellung befasst sind. Diese Personengruppe wird im weiteren Verlauf als Kurator:innen zusammengefasst. Wie in Abschnitt herausgestellt wurde, stehen nahezu allen Museumsmitarbeiter:innen (94%, N=96) ein PC oder ein Laptop am Arbeitsplatz zur Verfügung. Aufbauend auf der ALS-Infrastruktur ist es daher auch für die AR-Autorensysteme wichtig, dass diese von einem PC aus über einen Webbrowser genutzt werden können. Weiterhin befassten sich viele Museen mit der Digitalisierung ihrer Exponate (siehe Abschnitt 2.1). Mittels des Autorensystems lassen sich diese digitalen Inhalte ebenfalls für die Nutzung im AR-Kontext oder auch im allgemeinen ALS-Kontext nutzen.

Bei dem Vergleich bestehender AR-Autorensysteme (siehe Abschnitt 2.2.2) wurde unter anderem untersucht, welche Medienarten für das jeweilige AR-Autorensystem relevant sind. Dabei wurden folgende Medienarten identifiziert:

- Bilder
- Texte
- Videos
- Audio-Dateien
- 3D-Objekte
- Animierte 3D-Objekte

Um diese Medienarten zu verarbeiten und in dem AR-Autorensystem nutzen zu können, werden Werkzeuge zur Bildbearbeitung, zum Videoschnitt und zur Erstellung und Bearbeitung von 3D-Objekten benötigt. Aktuell gibt es am Markt bereits viele Anbieter professioneller Werkzeuge für die Verarbeitung von Bildern, Videos, Audio-Dateien und 3D-Objekten. All diese existierenden Werkzeuge unterstützen aber eine breite Palette an Funktionen und sind daher sehr unübersichtlich. Außerdem sind die Einarbeitung und Nutzung dieser professionellen Werkzeuge für die Kurator:innen sehr zeitaufwendig. Falls für die unterschiedlichen Medienarten Anwendungen von verschiedenen Herausgebern verwendet werden, unterscheidet sich außerdem die Handhabung der Anwendungen, wodurch die Nutzung zusätzlich erschwert wird. Daher umfasst das Konzept dieser Arbeit, dass zusätzliche Werkzeuge zur Medienbearbeitung entwickelt werden, welche direkt in den Bearbeitungsprozess eingebunden sind. Diese Werkzeuge werden vom Funktionsumfang auf die notwendigen Funktionen für die Bearbeitung von Inhalten für die ALS-Anwendungen reduziert und in einem nutzerzentrierten Entwicklungsprozess mit Kurator:innen entwickelt.

5.2 Architektur AR-Autorensystems

Die Architektur des AR-Autorensystems basiert auf der in Abschnitt 4.5.1 vorgestellten ALS-Systemarchitektur. Dabei ist das System in die Komponenten Verwaltung, Werkzeuge, Backend und Frontend (siehe Abb. 33) aufgeteilt.

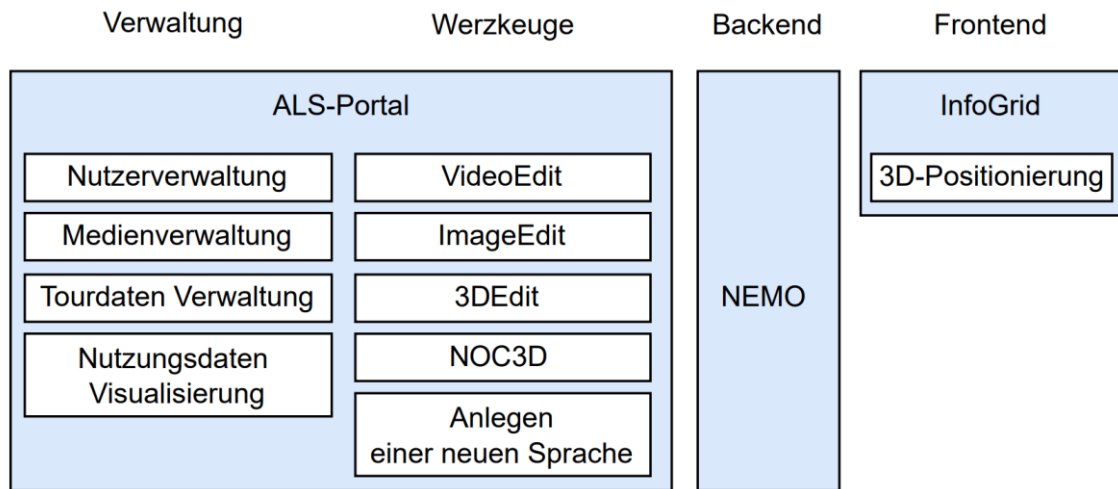


Abbildung 33: Überblick über die Struktur des AR-Autorensystems.

Verwaltung: Das ALS-Portal bildet das zentrale Verwaltungswerkzeug für alle ALS-Anwendungen. Als Grundfunktionen bietet das ALS-Portal die Möglichkeit zur Nutzer-Verwaltung und Medienverwaltung. Die Medien, welche über das ALS-Portal hinterlegt werden, werden mit semantischen Tags in NEMO gespeichert und können anschließend unter der Berücksichtigung von Nutzerrechten von allen ALS-Anwendungen genutzt werden. Im ALS-Portal wird außerdem eine Konfigurations-Komponente ergänzt, die es ermöglicht, Übersetzungen von den Textelementen von InfoGrid zu speichern. Dadurch wird es möglich, InfoGrid dynamisch in weitere Sprachen zu übersetzen. Die Übersetzungsfunktion wird in Abschnitt 5.4 vorgestellt. Für das AR-Autorensystem wird das ALS-Portal um zwei Komponenten erweitert. Die erste Komponente ist das Verwaltungstool für die AR-Touren, welches in Abschnitt 5.3 vorgestellt wird. Bei der zweiten Komponente handelt es sich um das Visualisierungssystem für Nutzungsdaten, welches Besucherinteraktionen in anonymisierter Form visuell darstellt. Dieses System wird in Abschnitt 9 vorgestellt.

Werkzeuge: Zu den Werkzeugen für das AR-Autorensystem zählen VideoEdit, ImageEdit, der NEMO 3D-Objekt Converter, 3DEdit und das Werkzeug zum Erzeugen von AssetCollections. Die Werkzeuge werden in Abschnitt 6 vorgestellt.

Backend: Als zentrales Backend für das AR-Autorensystem wird wie bei allen ALS-Anwendungen NEMO verwendet. In NEMO werden die annotierten Medien, Tour-Daten sowie die anonymen Nutzungsdaten gespeichert.

Frontend: Bei dem Vergleich der vorgestellten AR-Frameworks aus dem Abschnitt 2.2.4 wird festgestellt, dass die Leistungsfähigkeit einer nativen App aktuell noch deutlich besser ist als die Leistungsfähigkeit von WebAR-Anwendungen. Daher wurde InfoGrid als native Anwendung

konzipiert. Um Zeit und Kosten bei der Entwicklung zu sparen, wird es empfohlen eine Cross-Plattform-Implementierung zu entwickeln, welche eine geteilte Codebasis nutzt (Latif et al., 2016). Um dies zu erreichen, wurde die Entwicklung von InfoGrid mit Unity geplant, welches die Gestaltung von Cross-Plattform-Apps unterstützt. Da sich die Technologien aber sehr schnell weiterentwickeln wird die AR-Anwendung so gestaltet, dass sich das verwendete AR-Framework zu einem späteren Zeitpunkt austauschen lässt. Die Entwicklung und Struktur von InfoGrid werden in Abschnitt 7 vorgestellt.

5.3 Erstellung einer InfoGrid Tour über das ALS-Portal

Das ALS-Projekt besteht aus mehreren Frontend-Anwendungen und Werkzeugen, die für unterschiedliche Zwecke entwickelt wurden. Damit Kurator:innen auf die Konfiguration der Anwendungen über eine zentrale Stelle zugreifen können, wurden sie modular in dem webbasierten ALS-Portal zusammengefasst. Für das AR-Autorensystem wird ebenfalls ein entsprechendes Modul im ALS-Portal konzipiert. Über dieses Modul können Kurator:innen AR-Touren anlegen. Die einzelnen Aufgaben, welche zur Erstellung einer InfoGrid Tour notwendig sind, werden in einer Hierarchischen Aufgabenanalyse (HTA) (Annett & Duncan, 1967; Stanton, 2006) in Abb. 34 dargestellt.

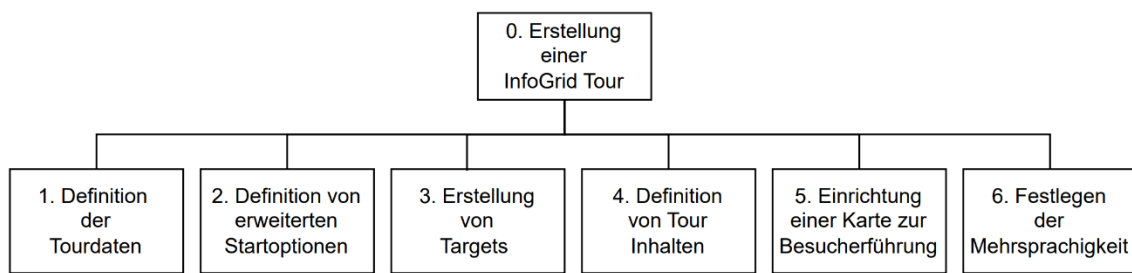


Abbildung 34: Hierarchischen Aufgabenanalyse (HTA) der Erstellung einer InfoGrid Tour.

5.3.1 Definition der Tourdaten

Zunächst werden die erforderlichen Daten identifiziert, welche für die Erstellung einer AR-Tour notwendig sind. Damit im Rahmen von InfoGrid Touren in unterschiedlichen Institutionen angelegt werden können, ist eine Definition von Institutionen im ALS-Portal notwendig. Als Datenfelder für die Beschreibung der Institutionen sind folgende Elemente vorgesehen:

- Name der Institution
- Beschreibung der Institution

Zunächst ist der Name der Institution wichtig, damit dieser wiederum den Kurator:innen beim Start von InfoGrid dargestellt werden kann. Auf diese Weise können mehrere Institutionen angelegt werden und den Institutionen können entsprechend Touren zugeordnet werden. Die Beschreibung der Institution ist eine ergänzende Information, die einen genaueren Aufschluss über die Institution wiedergibt.

Falls ein W-LAN Netz in dem Museum bereitgestellt wird, kann ein Hinweis dazu in der App gegeben werden. Um einen Individuellen Hinweis geben zu können werden entsprechende Angaben des Museums benötigt:

- individueller Hinweistext zur Möglichkeit der Verbindung mit dem lokalem WLAN
- Einstellung, die beschreibt, ob die Nutzung des lokalen WLANs verpflichtend ist

Der Hinweistext zur Verbindung mit dem lokalen WLAN wird Kurator:innen von InfoGrid angezeigt, falls sie eine Tour in der entsprechenden Institution nutzen möchten, jedoch noch nicht mit dem lokalen WLAN verbunden sind. Der Text kann frei definiert werden und ggf. auch Hinweise enthalten, wie eine Verbindung mit dem WLAN der Institution erfolgen kann. Außerdem kann optional auch eine Einstellung aktiviert werden, die es zwingend erforderlich macht, dass sich InfoGrid mit dem lokalen WLAN der Institution verbindet. Wenn dieses Feld aktiviert ist, können Nutzer:innen die Tour ausschließlich über das lokale WLAN der Institution abrufen.

Für die Erstellung eines Projektes sind folgende Angaben erforderlich:

- Titel der Tour
- Beschreibung der Tour
- Auswahl der Institution
- Datei, welche die Target-Informationen der Institution enthält

Außerdem können optionale Startoptionen definiert werden:

- Einleitungstext beim Start der App
- Intro-Video (Auflösung)
- Thumbnail für das Intro-Video

Eine Angabe des Titels der Tour ist wichtig, damit mehrere Touren in einer Institution angelegt und von Besucher:innen ausgewählt werden können. Die Beschreibung der Tour ergänzt den Titel und beschreibt den Zweck und Inhalt der Tour detailliert. Anschließend ist es erforderlich, dass eine Tour einer Institution zugeordnet wird. Dies kann über die Auswahl der Institution

durchgeführt werden. Als Auswahlmöglichkeiten stehen hierbei allen Institutionen zur Verfügung, welche zuvor im Bereich der Einrichtung von Institutionen definiert wurden. Nachdem die Daten eingegeben wurden, benötigt die Anwendung Informationen über die visuellen Bereiche der Institution, welche von InfoGrid im real-physischem Raum erkannt werden sollen. Bei der Verwendung des Vuforia AR-Frameworks gibt es dazu einen vom Framework vorgegebenen Prozess, um diese Bereiche als Targets zu definieren. Dieser Prozess wird in folgendem Abschnitt dargestellt.

5.3.2 Erstellung von Targets

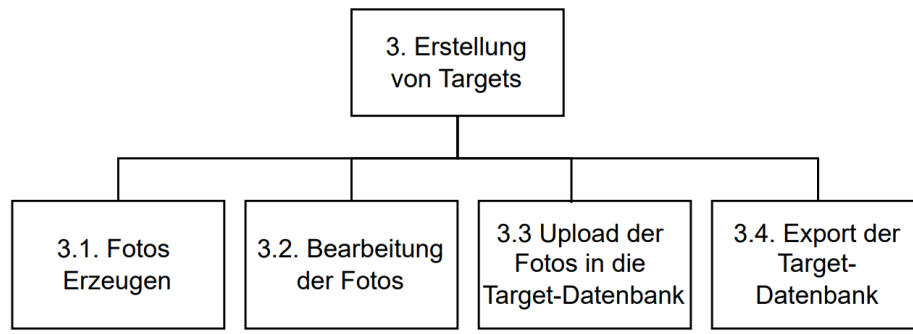


Abbildung 35: HTA der Erstellung einer Target-Datenbank aus Fotos von real-physischen Orten.

Der Ablauf der Erstellung von Targets für InfoGrid wird in Abb. 35 in Form einer HTA dargestellt. Zunächst ist es erforderlich, kontrastreiche und klar erkennbare Fotos von den Bereichen zu erstellen, die von InfoGrid später erkannt werden sollen. Die Fotos müssen anschließend so zugeschnitten werden, dass nur der Bereich, der von InfoGrid erkannt werden soll, auf dem Bild sichtbar bleibt. Der Zuschneideprozess kann mit einem beliebigen Bildbearbeitungsprogramm durchgeführt werden. Alternativ kann auch das ALS-Werkzeug *ImageEdit*, welches in Abschnitt 6.2 vorgestellt wird, für das Zuschneiden verwendet werden. Anschließend ist es erforderlich, die Bilder passend zu benennen und sie in den sogenannten Target-Manager auf der Webseite des Vuforia-Framework Anbieters hochzuladen. Über die Webseite kann dann aus den Bilddateien eine Target-Datenbank erzeugt werden. Die Target-Datenbank enthält extrahierte Features aus den Bildern, welche für die Bilderkennung von dem Framework verwendet wird. Da die Features keine Farbwerte beinhalten und das Bild nur in abstrakter Form widerspiegeln, ist die Target-Datenbank von der Dateigröße her, wesentlich kleiner als die ursprünglichen Bilder. Außerdem werden in der Target-Datenbank die Features aller Bilder abgelegt und das Ergebnis in einer einzelnen ZIP-Datei gespeichert. Nach der Erzeugung der Target-Datenbank ist es erforderlich, diese im ALS-Portal hochzuladen, sodass sie über NEMO für

InfoGrid bereitgestellt werden kann (siehe Abb. 34). Die Erzeugung der Target-Datenbank kann nur über die Webseite des Framework-Herstellers durchgeführt werden, da derzeit keine Schnittstelle für die automatisierte Verarbeitung verfügbar ist. Damit Kurator:innen des ALS-Portals den Prozess nachvollziehbar durchführen können, wurde eine bebilderte PDF-Anleitung für die notwendigen Schritte erzeugt und diese im ALS-Portal hinterlegt.

5.3.3 Erweiterte Startoptionen

Als optionale Startoption kann ein Einführungstext definiert werden, der den Nutzer:innen von InfoGrid eine Einführung in die Tour gibt. Außerdem kann der Text Hinweise darüber bereitstellen, wo die Targets innerhalb der Ausstellung gefunden werden können. Neben dem Text kann zusätzlich ein Video hinterlegt werden, indem eine Einführung in die Tour gegeben wird. Falls ein Video ausgewählt wird, ist es außerdem erforderlich eine Bilddatei als Thumbnail für das Video zu hinterlegen, welches eine Vorschau auf das Video anbietet.

5.3.4 Definition der Tour-Inhalte

Nachdem eine Tour angelegt wurde, werden Kurator:innen auf eine Seite im ALS-Portal geleitet auf der sie die Tour-Inhalte definieren können. Das ALS-Portal stellt zunächst alle Einträge aus der zuvor hochgeladenen Target-Datenbank (siehe Abschnitt 5.3.2) in einer tabellarischen Auflistung dar. Die Bezeichnung der Targets wird dabei aus der Target-Datenbank übernommen, und entspricht der Bezeichnung, welche zuvor in dem Target-Manager auf der Seite des Vuforia-Frameworks angegeben wurde. In der Auflistung der Targets können anschließend die AR-Anreicherungen definiert werden. Zunächst ist es erforderlich, für alle Targets die Anreicherungsart, den sogenannten *Overlay-Type*, festzulegen. In Abschnitt 2.2.2 wurden die Medienarten identifiziert, welche bestehende AR-Autorensysteme in unterschiedlicher Kombination zur virtuellen Anreicherung anbieten:

- Texte und Symbole
- Bilder und Videos (2D)
- Audio
- 3D-Modelle und 3D-Daten
- Animationen

Folgende Möglichkeiten der Anreicherung wurden davon für das AR-Autorensystem abgeleitet:

- Deaktiviertes Target

- Automatisch dargestelltes 3D-Objekt
- Automatisch dargestelltes Bild
- Manuell gestartete Audio-Datei in der Vollbildansicht
- Automatisch abgespieltes Video-Overlay
- Manuell gestartetes Video-Overlay
- Automatisch gestartetes Vollbildvideo
- Manuell gestartetes Vollbildvideo
- Automatisch gestartete AssetCollection

Die Overlay-Darstellungen können in zwei Kategorien unterteilt werden. Bei der Ersten Kategorie handelt es sich um Darstellungen, welche gemischt mit der realen Umgebung eingeblendet werden. Die zweite Kategorie umfasst Darstellungen, welche unabhängig von der Kameraausrichtung wiedergegeben werden. Dies können beispielsweise Audio und Videowiedergaben sein, welche im Vollbildmodus bildschirmfüllend wiedergegeben werden. Die Wiedergabe startet dabei automatisch nach der Erkennung des Targets. Im Unterschied zu den Overlay-Darstellungen, welche die Wiedergabe von Inhalten beenden, sobald sie von der Kamera nicht mehr erfasst werden, laufen die Vollbildwiedergaben unabhängig von Ausrichtung des Smartphones solange weiter, bis sie komplett abgespielt wurden oder die Wiedergabe manuell beendet wird.

Deaktiviertes Target: Falls ein Target keine AR-Anreicherung darstellen soll, kann es deaktiviert werden. Dies kann unter anderem dazu genutzt werden, einzelne Anreicherungen im Verlauf ihrer Überarbeitung zu deaktivieren, während die aktiven Targets weiterhin genutzt werden können.

Automatisch dargestelltes 3D-Objekt: Falls die Auswahl für ein automatisch dargestelltes 3D-Objekt aktiviert wird, ist es erforderlich, ein 3D-Objekt im *obj* Format als ZIP-Datei in das ALS-Portal hochzuladen. *Obj* Dateien können mit nahezu allen 3D-Bearbeitungsprogrammen erstellt werden (z.B. Blender, 3D Studio Max, etc.). Falls ein 3D-Objekt in einem anderen Format vorliegt, ist es zunächst erforderlich diese Datei in das *obj* Format zu konvertieren. Die ALS-Werkzeuge NEMO 3D-Object Converter (siehe Abschnitt 6.3) sowie 3DEdit (siehe Abschnitt 6.4) nutzen ebenfalls das OBJ-Format. Das ausgewählte 3D-Objekt wird InfoGrid bereitgestellt, sodass es in Bezug zu dem Target dargestellt wird.

Automatisch dargestelltes Bild: Falls die Auswahl auf das automatisch dargestellte Bild eingestellt wird, ist es erforderlich, das gewünschte Bild im JPG bzw. im PNG-Format in das ALS-

Portal hochzuladen. Das Bild wird InfoGrid bereitgestellt, sodass es in Bezug zu dem Target dargestellt wird.

Manuell gestartete Audio-Datei in der Vollbildansicht: Falls die Auswahl auf die manuell gestartete Audio-Datei in der Vollbildansicht eingestellt wird, ist es erforderlich, die gewünschte Audio-Datei im *MP3* Format in das ALS-Portal hochzuladen. Die Audio-Datei wird InfoGrid mit der Information bereitgestellt, dass es in einem Audio-Player bildschirmfüllend wiedergegeben wird und erst dann abgespielt wird, wenn es manuell angewählt wird.

Automatisch abgespieltes Video-Overlay: Falls die Auswahl auf das automatisch abgespielte Video-Overlay eingestellt wird, ist es erforderlich, die gewünschte Video-Datei aus dem NEMO-Repository auszuwählen. Das Video kann zuvor entweder über die Medienverwaltung oder über *VideoEdit* in das NEMO-Repository hochgeladen werden. Die Video-Datei wird InfoGrid mit der Information bereitgestellt, dass es das Target überlagern und automatisch abgespielt wird.

Manuell gestartetes Video-Overlay: Falls die Auswahl auf das manuell gestartete Video-Overlay eingestellt wird, ist es erforderlich, die gewünschte Video-Datei aus dem NEMO-Repository auszuwählen. Das Video kann zuvor entweder über die Medienverwaltung oder über *VideoEdit* in das NEMO-Repository hochgeladen werden. Die Video-Datei wird InfoGrid mit der Information bereitgestellt, dass es das Target überlagern soll und erst dann abgespielt wird, wenn es manuell angewählt wird.

Automatisch gestartetes Vollbildvideo: Falls die Auswahl auf das automatisch gestartete Vollbildvideo eingestellt wird, ist es erforderlich, die gewünschte Video-Datei aus dem NEMO-Repository auszuwählen. Das Video kann zuvor entweder über die Medienverwaltung oder über *VideoEdit* in das NEMO-Repository hochgeladen werden. Die Video-Datei wird InfoGrid mit der Information bereitgestellt, dass es bildschirmfüllend dargestellt und automatisch abgespielt wird.

Manuell gestartetes Vollbild Video: Falls die Auswahl auf das manuell gestartete Vollbildvideo eingestellt wird, ist es erforderlich, die gewünschte Video-Datei aus dem NEMO-Repository auszuwählen. Das Video kann zuvor entweder über die Medienverwaltung oder über *VideoEdit* in das NEMO-Repository hochgeladen werden. Die Video-Datei wird InfoGrid mit der Information bereitgestellt, dass es bildschirmfüllend dargestellt wird und erst dann abgespielt wird, wenn es manuell angewählt wird.

Automatisch gestartete AssetCollection: Bei einer AssetCollection handelt es sich um ein Paket von Elementen, welches aus einzelnen oder einer Kombination unterschiedlicher Medienarten z.B. 3D-Modellen, Texturen, Audiodateien, Videodateien, Animationen und dynamischen Verhalten besteht. AssetCollections können wie in Abschnitt 6.5 beschrieben von Fachpersonen erstellt und anschließend Kurator:innen für die Einbindung in InfoGrid bereitgestellt werden. Mit AssetCollections lassen sich interaktive Szenen, welche aus beliebig vielen Einzelelementen bestehen können in eine einzige plattformspezifische Zip-Datei packen.

Falls die Auswahl auf die automatisch gestartete AssetCollection eingestellt wird, ist es erforderlich, die gewünschte AssetCollection für Android sowie für iOS im ALS-Portal hochzuladen. Die AssetCollections werden InfoGrid mit der Information bereitgestellt, dass sie automatisch in Bezug zu dem Target dargestellt werden.

Nachdem alle Targets mit einer Medienauswahl versehen wurden, können zu jedem Target zusätzliche Informationen hinterlegt werden. Diese Details werden InfoGrid als Beschreibung bereitgestellt und können über die Kartenfunktion innerhalb von InfoGrid abgerufen werden. Die Informationen dienen dem Zweck, dass die Nutzer:innen von InfoGrid den Target-Bereich im real-physischen Raum finden. Zusätzlich können beschreibende Informationen zu dem Target hinterlegt werden. Folgende Detailinformationen können im ALS-Portal hinterlegt werden:

- eine Überschrift der Informationsseite,
- eine Beschreibung des Targets und
- ein zusätzliches Bild des Target-Bereiches.

Falls eine Detailinformation zu einem Target angelegt wird, ist es zunächst erforderlich, eine Überschrift für die Informationsseite einzugeben und eine Beschreibung zu ergänzen. Diese Beschreibung kann Informationen darüber enthalten, wie man das Target findet. Zusätzlich kann sie aber auch eine Beschreibung des Objektes beinhalten, welches als Target hinterlegt wurde. Ergänzend zu den textuellen Informationen kann ein zusätzliches Bild in das ALS-Portal hochgeladen, bzw. aus dem NEMO-Repository ausgewählt werden, welche das Objekt, welches als Target definiert wurde, darstellt. Dies kann die Nutzer:innen von InfoGrid dabei unterstützen, das Objekt im real-physischen Raum zu finden.

5.3.5 Einrichtung einer Karte zur Besucherführung

Um Nutzer:innen von InfoGrid durch eine Ausstellung führen zu können, ist im Rahmen der Anwendung ein Führungssystem notwendig. Dies kann durch einen Grundriss mit eingezeich-

neten Standorten der Target-Bereiche, die Nutzer:innen jederzeit aufrufen können, ermöglicht werden. Zusätzlich hilft ein solches System ebenfalls beim Auffinden der Targets. Neben der Hervorhebung der Targets innerhalb von InfoGrid kann es für die Nutzer:innen hilfreich sein, wenn ein zusätzlicher visueller Hinweis im real-physischen Raum bei dem jeweiligen Target angebracht wird. Um eine Führung zu erstellen, werden folgende Informationen benötigt:

- ein Grundriss,
- die Lage der Targets auf dem Grundriss und
- die Reihenfolge in der Führung.

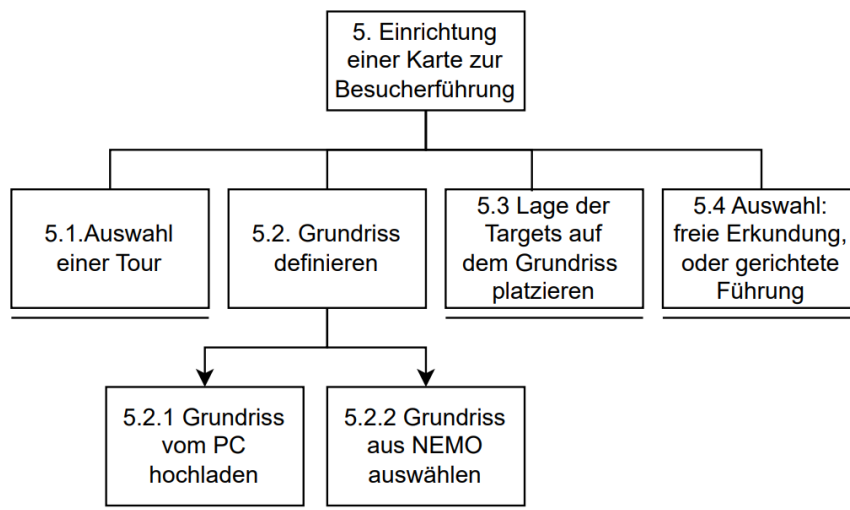


Abbildung 36: HTA der Einrichtung einer Karte zur Besucherführung mit InfoGrid.

Der Ablauf der Erstellung einer Karte zur Besucherführung für InfoGrid wird in Abb. 36 in Form einer HTA dargestellt. Zunächst ist es erforderlich die Tour auszuwählen, zu der die Führung ergänzt werden soll. Im nächsten Schritt wird der Grundriss definiert, welcher für die Kartendarstellung verwendet werden soll. Dieser kann von einem lokalen PC hochgeladen werden oder aus dem Medienbestand von NEMO ausgewählt werden, wenn dieser zuvor hochgeladen wurde. Nachdem dies erfolgt ist, werden die Targets aus der zuvor erstellten Tour geladen und dargestellt. Als Nächstes, ist es erforderlich, die Lage der Targets auf dem Grundriss zu platzieren. Zuletzt kann entschieden werden, ob eine freie Erkundung oder eine gerichtete Führung gewünscht ist. Bei der Auswahl einer freien Erkundung müssen keine weiteren Angaben mehr im System hinterlegt werden. Auf den Symbolen, welche die Standorte der Targets repräsentieren, werden von dem System kleine Icons dargestellt, die die Art der Anreicherung an dem jeweiligen Ort darstellen. Bei der Auswahl einer Führung ist es notwendig, alle Targets mit einer Reihenfolge zu versehen, indem sie nummeriert werden. Über die Nummerierung kann das System Nutzer:innen jeweils den nächsten Standort vorschlagen.

5.4 Mehrsprachigkeit

InfoGrid wurde zunächst in deutscher Sprache entwickelt. Es gibt aber viele Museen und Kultureinrichtungen, welche in Grenzgebieten liegen, die Ihre Ausstellung auch in einer weiteren Sprache präsentieren. Außerdem gibt es bei allen Museen eine große Anzahl von nicht deutschsprachigen Touristen (siehe Abschnitt 3.2.4). Daher ist es sinnvoll, InfoGrid auch in weiteren Sprachen anzubieten. Mit dieser Thematik hat sich die Bachelorarbeit von Sarah Scheer mit dem Titel „Erweiterung des mobilen Augmented-Reality-Systems InfoGrid um Mehrsprachigkeit“ (Scheer, 2020) befasst. Als Lösungsansatz wurde InfoGrid so erweitert, dass sich alle Texte in der Oberfläche von dem Frontend-System InfoGrid dynamisch austauschen lassen und die Texte innerhalb von InfoGrid auf diese Weise in beliebige Sprachen übersetzt werden kann. Die Texte, welche in der InfoGrid Oberfläche dargestellt werden, werden dabei von NEMO ausgeliefert. Außerdem wurde eine Seite zur Definition von neuen Sprachen im ALS-Portal erstellt. Über diese Seite werden die neuen Übersetzungen erzeugt und in NEMO abgelegt. Für die Definition einer Übersetzung werden folgende Angaben benötigt:

- Titel der Sprache
- Beschreibung der Sprache
- Bezeichnung der Sprache in Landessprache
- Sichtbarkeit der Sprache in InfoGrid

Um eine Sprache zu definieren, werden zunächst ein Titel und eine kurze Beschreibung der Sprache benötigt. Der Titel dient dabei nur als interne Referenz und kann beispielsweise die namentliche Bezeichnung der Sprache sein. Für InfoGrid wird außerdem die Bezeichnung der Sprache in Landessprache benötigt, sodass diese den Nutzer:innen entsprechend dargestellt werden können. Solange die Sprache noch nicht komplett fertig übersetzt ist, kann über die Funktion der Sichtbarkeit der Sprache die Anzeige der Sprache in InfoGrid ausgeblendet werden. Sobald die Übersetzung abgeschlossen ist, kann die Sichtbarkeit der Sprache aktiviert werden. Für die Bearbeitung einer Sprache steht eine separate Eingabeseite zur Verfügung, welche alle Texte in der Ausgangssprache darstellt und für jeden Texteintrag einen Bereich für die Eingabe der Übersetzung anbietet. Nach der Eingabe der Daten werden sie in NEMO gespeichert und InfoGrid bereitgestellt.

6 ALS-Werkzeuge

Alle Nutzer:innen der ALS-Systeme haben ein eigenes Medienrepository, in dem sie Medien, wie beispielsweise Videodateien, Audiodateien, Bilder oder 3D-Objekte mit einer Beschreibung und zusätzlichen optionalen Tags ablegen können. Diese Medien können die Nutzer:innen über das ALS-Portal hochladen, sodass sie in ihrem Medienrepository in NEMO gespeichert werden. Bei Bedarf können die Nutzer:innen die ALS-Werkzeuge anschließend dazu nutzen, die Medien in ihrem Repository direkt über das ALS-Portal zu bearbeiten. Wenn ein ALS-Werkzeug genutzt wird und eine Mediendatei zuvor noch nicht in das Medienrepository hochgeladen wurde, kann sie auch innerhalb des ALS-Werkzeugs von dem lokalen PC aus importiert werden. Alle Medien können nach ihrer Bearbeitung in einer neuen Version im Medienrepository gespeichert werden und stehen so automatisch allen ALS-Anwendungen zur Nutzung bereit. Dadurch sind die Werkzeuge nahtlos im ALS-Portal integriert und ermöglichen einen flüssigen Arbeitsablauf. Die ALS-Werkzeuge umfassen Anwendungen zur Bildbearbeitung, zum Videoschnitt und zur Erstellung und Bearbeitung von 3D-Objekten. Alle Anwendungen wurden mit Ausrichtung auf den Einsatz im Museums- und Schulkontext konzipiert.

6.1 VideoEdit

In Workshops und formativen Evaluationen mit den ALS-Anwendungen wurde festgestellt, dass die Bearbeitung von Videos in Schulen und Museen meist nur mit erheblichem Aufwand möglich ist und dabei außerdem eine große Fehlerquelle darstellt. Als Lösung für dieses Problem wurde die Anwendung VideoEdit entwickelt. VideoEdit wurde zunächst in einem Bachelorprojekt entwickelt und anschließend mit Unterstützung einer wissenschaftlichen Hilfskraft weiterentwickelt. VideoEdit wird außerdem in der Publikation „VideoEdit: An Easy-To-Use Web-Based Video Creation Tool for the Classroom“ (Ohlei et al., 2021) detailliert beschrieben.

6.1.1 Benötigte Features zur Videobearbeitung in ALS

Der Funktionsumfang, welcher in VideoEdit bereitgestellt werden soll, leitet sich aus den Anforderungen aus dem AR-Autorenwerkzeug, der Anforderungen der weiteren ALS-Anwendungen sowie aus Befragungen von Lehrer:innen und Kurator:innen ab. Folgende benötigte Features wurden dabei identifiziert (Ohlei et al., 2021):

- Dateiupload aus einer lokalen Quelle und vom Mobilgerät
- Encoder, der alle gängigen Videoformate unterstützt
- Schneiden und Zusammenfügen von Videos und Bildern
- Hinzufügen, positionieren, löschen von Audiospuren
- Veränderung der Lautstärke (0% - 200%)
- Blende, Zoomeffekte, Ränder entfernen
- Maus- und Toucheingaben unterstützen
- Textoverlays für Einleitungen oder Untertitel
- Serverbasiertes Rendern mit HD- und SD-Ausgabeformat

Bei der Befragung von Kurator:innen wurde festgestellt, dass in Museen zu vielen Ausstellungsstücken inhaltlich nur Bilder und Textinformationen als Ausgangsmaterial vorhanden sind. Damit auf Basis dieses Ausgangsmaterials bewegte Filme erzeugt werden können, wurde VideoEdit so gestaltet, dass auch Bilder für die Videoproduktion eingebunden werden können. Außerdem wurde die Funktion einer Blende sowie Zoomeffekte eingeführt, mit denen aus den Bildern bewegte Videos erzeugt werden können.

Das AR-Autorenwerkzeug ermöglicht, Videos als AR-Overlays passend über einem Target darzustellen. Damit das Video das Target exakt überdeckt, wurde die Funktion für das Entfernen von Rändern eingebunden. Um diese Funktion zu nutzen, ist es notwendig, zunächst ein Foto von dem Target in das Video einzubinden. Anschließend kann die Funktion „Ränder entfernen“ aktiviert werden und das gesamte Video wird in das Format des Fotos von dem Target geschnitten.

6.1.2 Systemarchitektur von VideoEdit

Auf Basis der ermittelten Features wurde VideoEdit in einem User-Centered Design Prozess mit mehreren formativen Evaluationen entwickelt. Das Frontend von VideoEdit wurde mit HTML, CSS und JavaScript entwickelt und das Backend mit ASP.NET. Der Video Encoder wurde mit

C#, .NET entwickelt und nutzt die Softwarebibliothek Ffmpeg zur Videoverarbeitung. NEMO speichert die Ausgangsmedien sowie die mit VideoEdit erzeugten Videos (Ohlei et al., 2021).

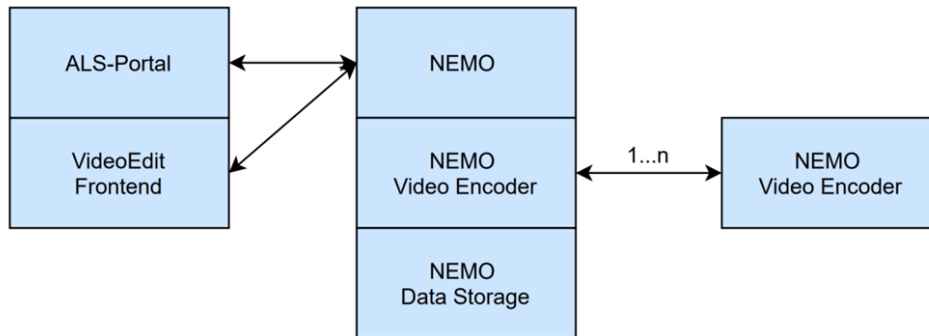


Abbildung 37: VideoEdit Systemarchitektur (Ohlei et al., 2021).

Im VideoEdit Frontend können Nutzer:innen das Rohmaterial für den Videoschnitt hochladen und die Parameter für den Videoschnitt einstellen. Die Einstellungen und Medien werden über eine sichere Web-Service Verbindung an NEMO übertragen. Das Rendern des Videos findet nach der Bestätigung durch die Nutzer:innen auf dem NEMO Video Encoder statt. Es können beliebig viele Rendering-Server parallel eingerichtet werden, um mehrere Videos gleichzeitig zu erstellen. Die Anzahl der Rendering-Server kann jederzeit dynamisch angepasst werden (siehe Abb. 37). Nachdem der Rendering-Prozess abgeschlossen ist, wird das fertige Video automatisch für alle ALS-Anwendungen durch NEMO bereitgestellt (Ohlei et al., 2021).

6.1.3 Frontend-Design

Das Frontend von VideoEdit ist in drei Bereiche unterteilt (siehe Abb. 38). Der erste Bereich dient der Dateiverwaltung (oben links in der Abb. 38); der zweite Bereich ist der Vorschaubereich, der ebenfalls das Optionsmenü beinhaltet (oben rechts in der Abb. 38); der dritte Bereich beinhaltet die Zeitleiste, in der alle Komponenten des neuen Videos dargestellt werden (unten in der Abb. 38).

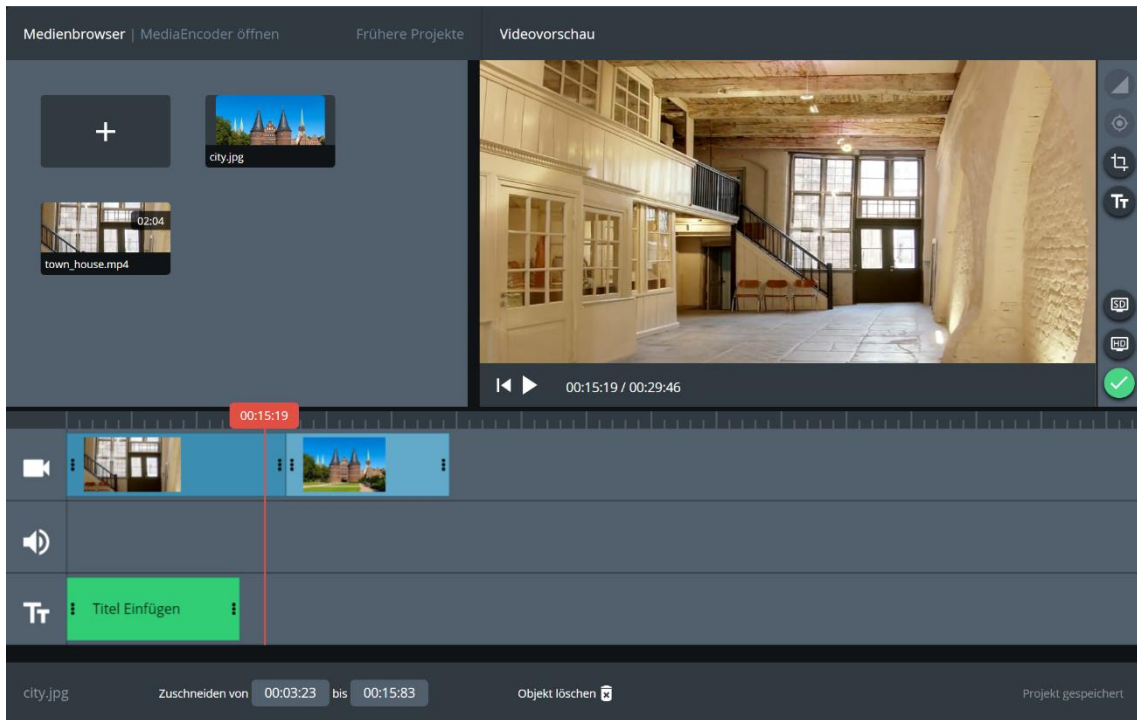


Abbildung 38: Bildschirmfoto von VideoEdit bei der Erzeugung eines neuen Videoprojektes, welches aus einer Kombination aus Video, Bild und Text besteht.

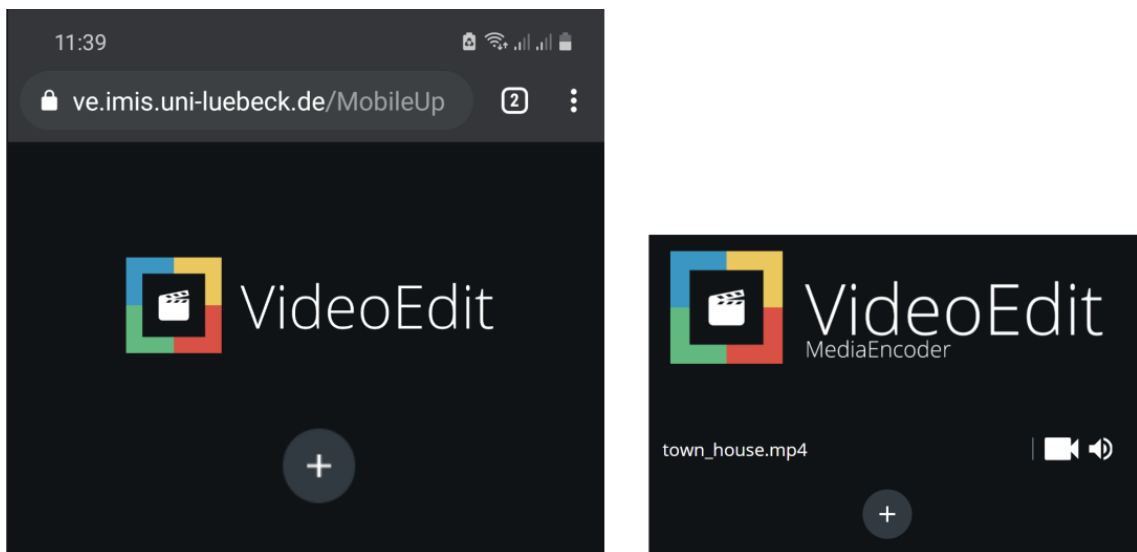


Abbildung 39: (Links) mobiler Upload von VideoEdit. Dateien können in das VideoEdit Projekt von jedem Mobilgerät hochgeladen werden. (Rechts) Der VideoEdit MediaEncoder konvertiert alle gängigen Video-Formate in MP4 Dateien, welche von VideoEdit verarbeitet werden können (Ohlei et al., 2021).

Wenn Nutzer:innen ein neues Projekt angelegt haben, ist es zunächst erforderlich, die Dateien hochzuladen, die in dem Video verwendet werden sollen. Das System unterstützt Dateien im Format MP4 (h264), MP3, MOV, JPG und PNG.

Für den Fall, dass Dateien in anderen Formaten verwendet werden sollen, kann der MediaEncoder (siehe Abb. 39) dazu genutzt werden, die Dateien in das MP4 Format (h264) zu konvertieren. Der MediaEncoder unterstützt alle Videoformate, die von dem zugrunde liegenden Framework FFmpeg bereitgestellt werden. Nutzer:innen können den MediaEncoder durch einen Klick auf den Link „Medienencoder öffnen“ im oberen linken Bereich des VideoEdit Frontend aufrufen (Ohlei et al., 2021). Neben dem Dateiupload von dem lokalen PC unterstützt VideoEdit auch einen mobilen Upload, sodass Nutzer:innen Dateien von ihren Smartphones oder Tablets direkt in die ALS-Plattform hochladen können, ohne ein Datenkabel zu benötigen. Um Dateien von Smartphones oder Tablets aus hochzuladen, ist es zunächst erforderlich, den Link zum mobilen Upload in der Dateiverwaltung von VideoEdit anzuwählen. Anschließend wird auf dem Bildschirm ein QR-Code angezeigt, der auf dem Gerät, von dem aus die Datei hochgeladen werden soll, eingescannt werden kann. Der QR-Code ruft eine Webseite von VideoEdit auf (siehe Abb. 39 links), die es erlaubt, Dateien in das Repository des Projekts hochzuladen. VideoEdit wurde mit Optionen zur Unterstützung der Videogestaltung entwickelt, welche in Abb. 40 dargestellt werden.

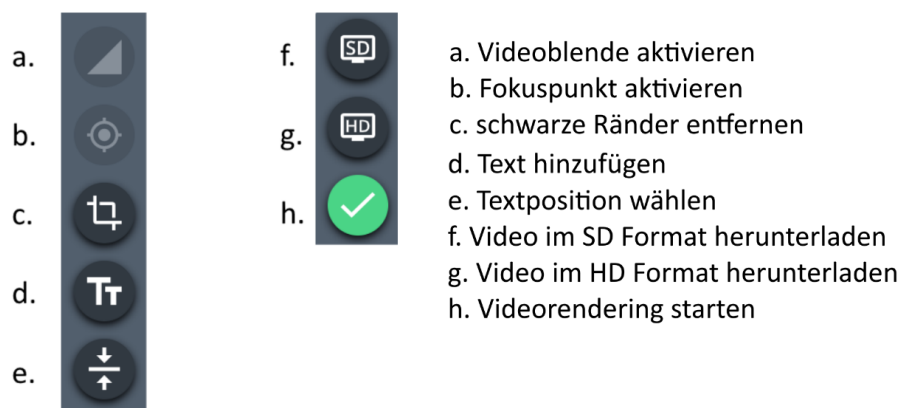


Abbildung 40: VideoEdit Schaltflächen: (a-e) Optionsmenü, (f-h) Menü zum Start des Rendering-Prozesses und Download des fertigen Videos.

Für den Fall, dass Nutzer:innen zu einem späteren Zeitpunkt Änderungen an zuvor gerenderten Videos machen möchten, können sie das Projekt aus dem Medienrepository laden, die gewünschten Einstellungen anpassen und das Video erneut rendern. Nach dem abgeschlossenen Rendering-Prozess haben Nutzer:innen außerdem die Möglichkeit, das Video in SD-Auflösung (720p) mit der Schaltfläche *f* oder in HD-Auflösung (1080p) mit der Schaltfläche *h* auf den lokalen PC herunterzuladen.

6.1.4 Evaluationen von VideoEdit

Die Grundversion von VideoEdit wurde im Rahmen eines Bachelorprojektes entwickelt, welches vom Autor dieser Arbeit betreut wurde. Während der Entwicklung haben die Studierenden mehreren formative Expertenevaluationen mit Kurator:innen und Projektmitarbeitern durchgeführt, in denen die Gebrauchstauglichkeit überprüft wurde. Außerdem wurde eine abschließende Evaluation mit 20 Teilnehmer:innen (N=20) durchgeführt. Unter den Teilnehmer:innen waren 10 Studierende, welche im Rahmen der EMI-Award Veranstaltung an der Evaluation teilgenommen haben. Darüber hinaus wurden 10 weitere Personen befragt, die zuvor wenig Erfahrung mit dem Videoschnitt hatten. Für alle Teilnehmer:innen wurde in der Evaluation die gleiche Aufgabe gestellt. Diese bestand darin ein Video zu erzeugen, welches aus zwei Videofragmenten und einem Bild bestand. Außerdem sollten eine Textüberblendung und eine Hintergrundmusik ergänzt werden. Die Aufgaben wurden aus den Anforderungen an die Erstellung von Videos für den Museumskontext abgeleitet. Die Teilnehmer:innen der Evaluation haben die Aufgaben jeweils ohne Hilfestellung bearbeitet. Es gab während der Bearbeitung nur von einer Person eine Frage, bei der eine Unterstützung benötigt wurde. Nur die unerfahrenen Benutzer haben zu Beginn eine kurze Einweisung in die Anwendung erhalten, indem die wichtigsten Funktionen vorgestellt wurden. Nach der Bearbeitung des Videos haben die Teilnehmer:innen einen Fragebogen mit der System Usability Scale ausgefüllt. Außerdem wurden die Teilnehmer:innen während der Bearbeitung des Videos beobachtet.

Die Ergebnisse der SUS-Fragebögen hat folgende Werte ergeben (N=20):

- 8 Rückmeldungen im Wertebereich zwischen 91-100
- 9 Rückmeldungen im Wertebereich zwischen 81-90
- 1 Rückmeldung im Wertebereich zwischen 71-80
- 2 Rückmeldungen im Wertebereich zwischen 61-70

Während der Evaluation wurde festgestellt, dass erfahrene Nutzer:innen keine Einweisung in VideoEdit benötigen und sich sehr schnell zurechtfinden. Unerfahrene Nutzer:innen benötigten jedoch eine kurze Einweisung in VideoEdit. Nach der Einweisung konnten aber auch diese Teilnehmer:innen die Aufgaben erfolgreich bearbeiten. Außerdem wurden Interaktionen beobachtet, welche durch VideoEdit nicht korrekt behandelt wurden. Unter anderem haben einige Teilnehmer:innen versucht Rechtsklicks zu nutzen, was in VideoEdit nicht vorgesehen war. Diese Probleme wurden im Anschluss an die Evaluation überarbeitet. Einige erfahrene Teilnehmer:innen haben sich weitere Funktionen gewünscht, welche aber für den Nutzungskontext von VideoEdit nicht vorgesehen waren (Akyildiz et al., 2018).

Im weiteren Projektverlauf wurde VideoEdit im Rahmen von Workshops in Schulen für die Erstellung von Videos für InfoGrid-Touren genutzt. Dabei hat der Autor dieser Arbeit in Zusammenarbeit mit den Lehrer:innen die Workshops begleitet. Im Rahmen der Workshops ist das Problem aufgefallen, dass die Schüler nicht immer die passenden Datenkabel zur Verfügung hatten, um selbst erzeugte Videos von ihren Smartphones auf den Schul-PC zu übertragen. Der Versand der Videos per Mail war häufig ebenfalls nicht möglich, da die Dateien zu groß waren. Daher wurde das Konzept für einen mobilen Upload vom Autor dieser Arbeit ausgearbeitet. Diese Funktion wurde anschließend von einem studentischen Mitarbeiter des ALS-Projektes in VideoEdit umgesetzt. Diese Funktion wurde so gestaltet, dass die Schüler mit ihren Smartphones einen QR-Code in VideoEdit einscannen können, welcher sie zu einer Upload-Webseite leitet. Über diese Seite können sie dann ihre Videos direkt in NEMO hochladen und sie unmittelbar in VideoEdit verwenden. Diese zusätzliche Funktion hat die Projektarbeit in weiteren Workshops deutlich vereinfacht.

VideoEdit wurde ebenfalls von Mitarbeiter:innen des Museums für Natur und Umwelt und des Buddenbrookhauses verwendet. Der Autor dieser Arbeit hat den Mitarbeiter:innen jeweils erläutert, wie VideoEdit aufgerufen und verwendet werden kann und war Ansprechpartner für Fragen zu der Anwendung.

Im Museum für Natur und Umwelt hat die Museumsleiterin mit Unterstützung von einer Mitarbeiterin im Freiwilligen Ökologischen Jahr (FÖJ) die inhaltlichen Konzepte zu den Videos, welche innerhalb der AR-Tour gezeigt werden sollen, ausgearbeitet. Einige Videos wurden bereits vor der Fertigstellung von VideoEdit von dem Autor dieser Arbeit nach den Vorgaben der Museumsleiterin erzeugt und in der Tour hinterlegt. Die Audiospuren dieser Videos wurden von einer professionellen Sprecherin der Musikhochschule Lübeck aufgezeichnet. Nach der Fertigstellung von VideoEdit wurden zwei weitere Videos, welche die AR-Tour ergänzen sollten, von der Mitarbeiterin im FÖJ mit VideoEdit selbstständig erzeugt. Eines der Videos illustriert dabei die Entstehung eines Flusses. Um dieses Video zu erzeugen, hat die Mitarbeiterin im FÖJ unterschiedliche Bilder der Entstehungsgeschichte genutzt und diese mit einer Audiospur versehen, die sie mit einem Diktiergerät selbst aufgezeichnet hat. Das zweite Video handelt von dem Brodtener Steilufer an der Ostsee. Die Mitarbeiterin im FÖJ war mit einem studentischen Mitarbeiter des ALS-Projektes vor Ort am Brodtener Steilufer und hat dort Videoaufnahmen von der Umgebung sowie von den Uferschwalben gemacht. Diese Aufnahmen hat sie anschließend im Museum geschnitten und mit einer selbst aufgezeichneten Audiospur versehen, in der die Entstehung des Steilufers sowie der Lebensraum der Vögel beschrieben wurde. Die Erstellung der Videos war dabei ein Prozess, der in weniger als einer Stunde durchgeführt wurde. Die

Beschaffung der Materialien und insbesondere die Erzeugung der Audioaufnahmen waren hingegen sehr zeitaufwendig und haben jeweils mehrere Stunden in Anspruch genommen. Die Zuweisung der Videos zu den Target-Bereichen im Museum wurde von dem Autor dieser Arbeit gemeinsam mit der Mitarbeiterin im FÖJ durchgeführt. Dieser Prozess hat nur wenige Minuten gedauert.

Im Buddenbrookhaus Lübeck (BBH) hat die Museumsleiterin eine Kuratorin damit beauftragt, die Videos für die geplante AR-Tour zu erzeugen. Diese Kuratorin hat das benötigte Bildmaterial gesammelt und sich inhaltlich mit der Museumsleitung abgestimmt. Außerdem hat sie die Texte erstellt, die zu den Bildern gesprochen werden sollten. Um eine möglichst gute Sprachqualität zu erhalten, hat die Museumsleiterin des BBH eine Sprecherin des Lübecker Theaters damit beauftragt, die Texte einzusprechen. Der Prozess der Materialsammlung hat sich über einen Zeitraum von ca. zwei Monaten erstreckt. Anschließend hat die Kuratorin die Videos mittels VideoEdit geschnitten. Um einen Abspann in den Videos zu erzeugen, hat Sie eine PowerPoint-Slide angelegt und diese über die Exportfunktion als Video exportiert. Diesen Abspann hat sie dann jeweils an das Ende der Videos angehängt. Die Erzeugung der Videos hat sich über einige Tage erstreckt, wobei die Kuratorin sich jedoch immer nur einige Stunden am Tag mit dem Schnitt befasst hat. Insgesamt wurden so 23 unterschiedliche Videos produziert.

Bei der Ausarbeitung der Videos für die Touren der Museen hat sich gezeigt, dass die Museumsmitarbeiter:innen gut mit VideoEdit zurechtkamen und die Videos selbstständig erzeugen konnten. VideoEdit konnte im Museum für Natur und Umwelt selbst auf einem leistungsschwachen Laptop eingesetzt werden, da es keine Installation benötigt und das Rendering im Hintergrund in NEMO durchgeführt wird. Da NEMO die Videos in unterschiedlichen Qualitätsstufen rendert, die auf die ALS-Umgebung abgestimmt sind, gab es bei der Videoerstellung keine Probleme. Gleichzeitig wurden alle gerenderten Videos automatisch in der Medienverwaltung der jeweiligen Institution abgelegt, sodass es auch keine Probleme dabei gab, erzeugte Videos zu einem späteren Zeitpunkt wiederzufinden. Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die Erzeugung von Videos mittels VideoEdit den Prozess der Videoerstellung sehr vereinfacht und viele Vorteile mit sich bringt. Außerdem bleibt die Möglichkeit Videos mit externen Programmen zu erzeugen weiterhin möglich, sodass bedarfsweise auch darauf zurückgegriffen werden kann.

VideoEdit wurde ebenfalls auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit hin überprüft. Dabei ist die Geschwindigkeit des Rendering-Prozesses abhängig von der Geschwindigkeit des Encoding-Servers. Auf einem System mit Windows 10 Professional mit 64GB RAM, AMD Ryzen 9

3950X CPU dauert der Rendering-Prozess für die HD- und SD-Auflösung von einem Video mit einer Länge von einer Minute insgesamt ca. 23 Sekunden. Durch die Nutzung einer Grafikkarte zur Unterstützung des Rendering-Prozesses kann diese Zeit weiter verkürzt werden (Ohlei et al., 2021).

6.2 ImageEdit

Im Folgenden wird die Architektur und Implementierung von ImageEdit vorgestellt. ImageEdit wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit (Müller, 2021) mit Unterstützung des Autors dieser Arbeit entwickelt und anschließend weiterentwickelt. Bei der Nutzung des ALS-Portals in Museen und Schulen ist bei formativen Evaluationen festgestellt worden, dass es für die Nutzer:innen teilweise umständlich ist, Bilder zu bearbeiten. Dies liegt teilweise an fehlender Software oder auch daran, dass die vorhandene Software viele Funktionen bietet und dadurch für manche Nutzer:innen sehr zeitaufwendig bei der Nutzung ist. Da Bilder in vielen ALS-Anwendungen genutzt werden, wurde zur Vereinfachung des Bearbeitungsprozesses die Anwendung ImageEdit entwickelt.

6.2.1 Benötigte Features zur Bildbearbeitung

Durch die Befragungen von Lehrer:innen und der Betrachtung der Anforderungen der ALS-Anwendungen sowie des AR-Autorensystems wurden die Features identifiziert, die von einem Bildbearbeitungsprogramm für ALS benötigt werden.

Für die Erzeugung von Targets des AR-Autorensystems, ist es erforderlich, dass die Bildbereiche, die von dem AR-System erkannt werden sollen, aus dem Bild ausgeschnitten werden. Daher ist eine Funktion zum Zuschneiden in ImageEdit notwendig. Falls bei der Aufnahme der Bilder ein Smartphone verwendet wird, kann es vorkommen, dass Bilder gedreht sind. Um dies zu korrigieren, benötigt ImageEdit eine Funktion zum Drehen der Bilder.

Damit Targets von dem Framework zur Bilderkennung gut wiedererkannt werden, ist es bei manchen Aufnahmen hilfreich, die Helligkeit, den Kontrast und die Sättigung des Bildes anzupassen. Durch die Anpassung werden Konturen klarer sichtbar und unterstützen so die Feature-Erkennung. Daher sind Funktionen zur Veränderung der Helligkeit, des Kontrasts und der Sättigung ebenfalls wichtige Funktionen, welche ImageEdit bereitstellt.

Folgende benötigte Features wurden für ImageEdit identifiziert:

- Zuschneiden
- Skalieren
- Drehen
- Spiegeln
- Anpassung von Helligkeit, Kontrast und Sättigung
- Eine Funktion zum Hinzufügen von Text

6.2.2 Systemarchitektur von ImageEdit

Auf Basis der benötigten Features wurde ImageEdit in einem User-Centered-Design Prozess entwickelt. ImageEdit wurde als webbasierte Anwendung gestaltet, welche auf Chrome und Edge Webbrowsern lauffähig ist. Das Frontend wurde mit HTML, CSS und JavaScript implementiert.

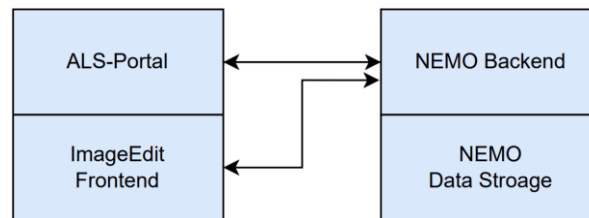


Abbildung 41: ImageEdit Systemarchitektur.

Im ImageEdit Frontend werden die Parameter für die Bildbearbeitung eingestellt. Außerdem kann die Datei, welche bearbeitet werden soll, hochgeladen oder aus dem NEMO-Repository von den zuvor hochgeladenen Medien ausgewählt werden. Das Hoch- und Herunterladen wird über einen https gesicherten Web-Service durchgeführt. Die Bildbearbeitungsfunktionen werden im Frontend über den Webbrowser berechnet und benötigen daher keine Backendfunktionen. Auf diese Weise können beliebig viele Bilder gleichzeitig bearbeitet werden, ohne dass es zu Wartezeiten bei der Berechnung kommt (siehe Abb. 41).

6.2.3 Frontend-Design

Das Frontend von ImageEdit ist in drei Bereiche unterteilt (siehe Abb. 42). Der erste Bereich dient der Dateiverwaltung, der Funktionen zum Rückgängig machen, zum Wiederholen von Arbeitsschritten und zum Einstellen der Parameter der jeweiligen Bearbeitungsfunktion (obere Leiste in der Abb. 42). Der zweite Bereich ist der Funktionsbereich (in der linken Spalte in Abb. 42). In diesem Bereich werden alle von ImageEdit unterstützten Bearbeitungsfunktionen aufge-

listet. Die Funktionen werden zunächst nur über ihre Icons dargestellt. Erst wenn die Maus über die Icons bewegt wird, werden die Funktionsbeschreibungen sichtbar, indem sich das Menü ausklappt. Der dritte Bereich ist der Vorschaubereich, welcher das aktuelle Bild und die Werkzeuge der aktuell ausgewählten Bearbeitungsfunktion darstellt (rechts unten in Abb. 42).

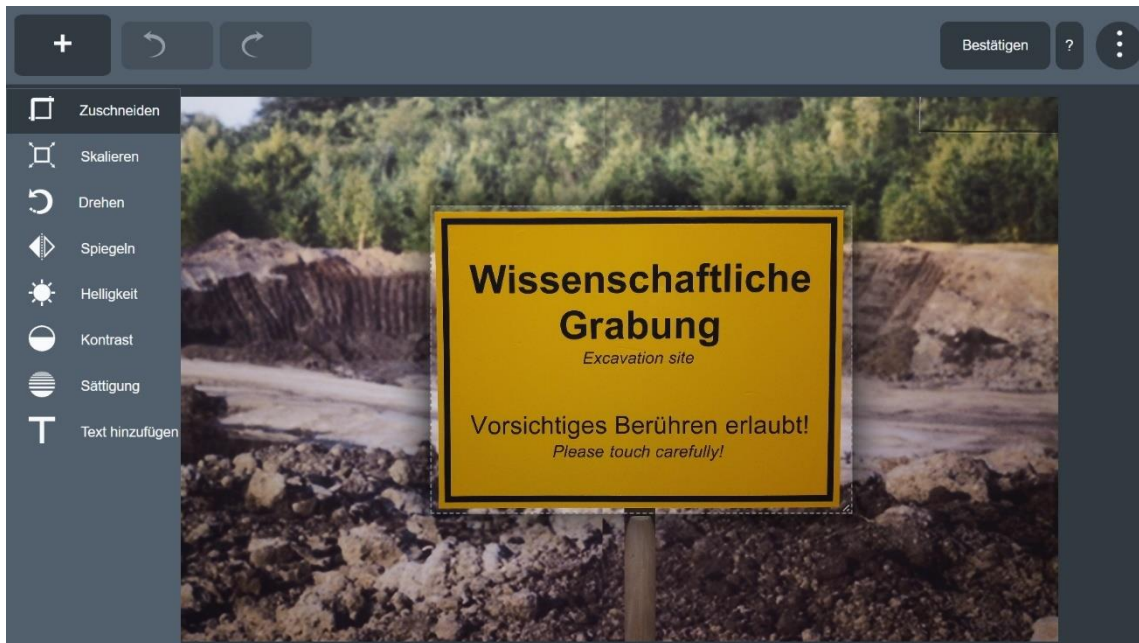


Abbildung 42: Bildschirmfoto von ImageEdit bei der Bearbeitung eines Bildes, welches als Target für InfoGrid eingesetzt werden soll. Mit der Zuschneiden Funktion wird der Target-Bereich des Bildes ausgeschnitten.

Wenn ImageEdit aufgerufen wird, ist es zunächst erforderlich, dass sich Nutzer:innen über ihre Benutzernamen und Passwörter anmelden. Nach der Anmeldung wird den Nutzer:innen ein Informationsfeld angezeigt, das den Hinweis darstellt, dass es zunächst erforderlich ist, ein Bild hochzuladen oder aus der Dateiverwaltung auszuwählen. Anschließend können die Nutzer:innen die gewünschten Bearbeitungsfunktionen durchführen und das Bild in NEMO-Repository speichern oder auf einen lokalen PC herunterladen. Nach dem Speichern des Bildes im NEMO-Repository, können die Nutzer:innen innerhalb aller ALS-Anwendungen darauf zugreifen.

6.2.4 Evaluation

ImageEdit wurde von dem Studierenden im Rahmen einer Vorstudie, mehreren Expertenevaluationen und einer summativen Evaluation auf die Gebrauchstauglichkeit hin untersucht. Im Rahmen der summativen Evaluation wurde der ISONORM 9241/110-S Fragebogen (ISO, 2020; Prümper & Michael, 1993) verwendet. Insgesamt nahmen zwölf Teilnehmer (N=12) an der

Studie teil. Unter den Teilnehmer:innen waren unter anderem Lehrer und Museumsmitarbeiter der Partnerinstitutionen des ALS-Projektes. Die Auswertung der Fragebögen hat über alle Kriterien hinweg einen durchschnittlichen Wert der Gebrauchstauglichkeit von 2,13 (SD=0,63; Min=-3; Max=3) ergeben. Die Ergebnisse zu allen sieben Dialogkriterien, welche in dem Fragebogen erfasst werden, lagen im positiven bis sehr positivem Bereich. Die Selbstbeschreibungsfähigkeit hatte mit durchschnittlich 1,2 den geringsten Wert und die Erlernbarkeit mit durchschnittlich 2,9 den höchsten Wert erreicht. Insgesamt deutet dies auf eine gute Gebrauchstauglichkeit hin (Müller, 2021). ImageEdit wurde erst nach der Fertigstellung der AR-Touren in den Museen erstellt und wurde daher nur im Rahmen der vorgestellten Nutzerstudie untersucht. Da das System aber genau wie VideoEdit browserbasiert genutzt werden kann, bietet es ebenfalls den Vorteil, dass es ohne Installationsrechte auf allen internetfähigen PCs verwendet werden kann. Außerdem werden mit ImageEdit erzeugte oder bearbeitete Bilder direkt in NEMO gespeichert, wodurch der Prozess des Speicherns vereinfacht wird. Da ImageEdit die Bilder in abgestimmten Formaten speichert, kann den Nutzer:innen auch hierbei kein Fehler passieren. Die Verwendung eines externen Bildbearbeitungsprogrammes ist weiterhin möglich, falls eine Bildbearbeitungsfunktion benötigt wird, die ImageEdit nicht unterstützt. Insgesamt vereinfacht die Verfügbarkeit von ImageEdit daher den Prozess der Bildbearbeitung im ALS-Kontext.

6.3 NEMO-Converter 3D

3D-Darstellungen ermöglichen Nutzer:innen von InfoGrid eine detailreiche Erforschung und Tiefenwahrnehmung des dargestellten 3D-Objektes. Damit 3D-Objekte im Rahmen des AR-Autorenwerkzeuges erstellt werden können, stellt der NEMO-Converter 3D einen technischen Ansatz zur automatischen Rekonstruktion von 3D-Objekten aus semantisch annotierten Fotos und Videos dar. Die erzeugten 3D-Objekte können nach einer optionalen Bearbeitung in 3DEdit in allen ALS-Anwendungen und insbesondere im AR-Autorensystem verwendet werden. Der NEMO-Converter 3D wird in der Publikation „NEMO-Converter 3D: Reconstruction of 3D-Objects from Photo and Video Footage for Ambient Learning Spaces“ (Bouck-Standen et al., 2017) detailliert beschrieben.

6.3.1 Voraussetzungen für die Rekonstruktion

Der NEMO-Converter 3D (NOC3D) wurde als Modul in NEMO implementiert. Der Nutzung von NOC3D liegen folgende Annahmen zugrunde (Bouck-Standen et al., 2017):

- NOC3D läuft als automatischer Dienst im Hintergrund, ohne dass Benutzerinteraktionen benötigt werden.
- Bilder und Videos werden mit mehreren Kameras und Smartphones aus unterschiedlichen Winkeln aufgenommen und können bei manchen Bildern auch nur Teile des Objektes darstellen.
- Es werden keine zusätzlichen Marker während der Foto- oder Videoaufnahme verwendet. Es werden nur unbewegte Umgebungen um das Objekt benötigt. Es ist erforderlich, dass jedes Foto oder Video einen Teil der Umgebung um das Objekt herum für die Rekonstruktion enthält.
- Ein Objekt zur Rekonstruktion sollte zwischen 5cm und 5m hoch sein.
- Bilder und Videos sollten nicht mehrere Objekte abbilden. Es wird nur ein Objekt pro Durchlauf rekonstruiert.

6.3.2 3D-Rekonstruktions Algorithmus

Zunächst erstellt NEMO eine Auswahl an Bildern und Videos, die das gleiche Objekt abbilden (siehe Abb. 43). Anschließend berechnet NOC3D die Kameraparameter der ausgewählten Medien, die für den Rekonstruktionsprozess benötigt werden.

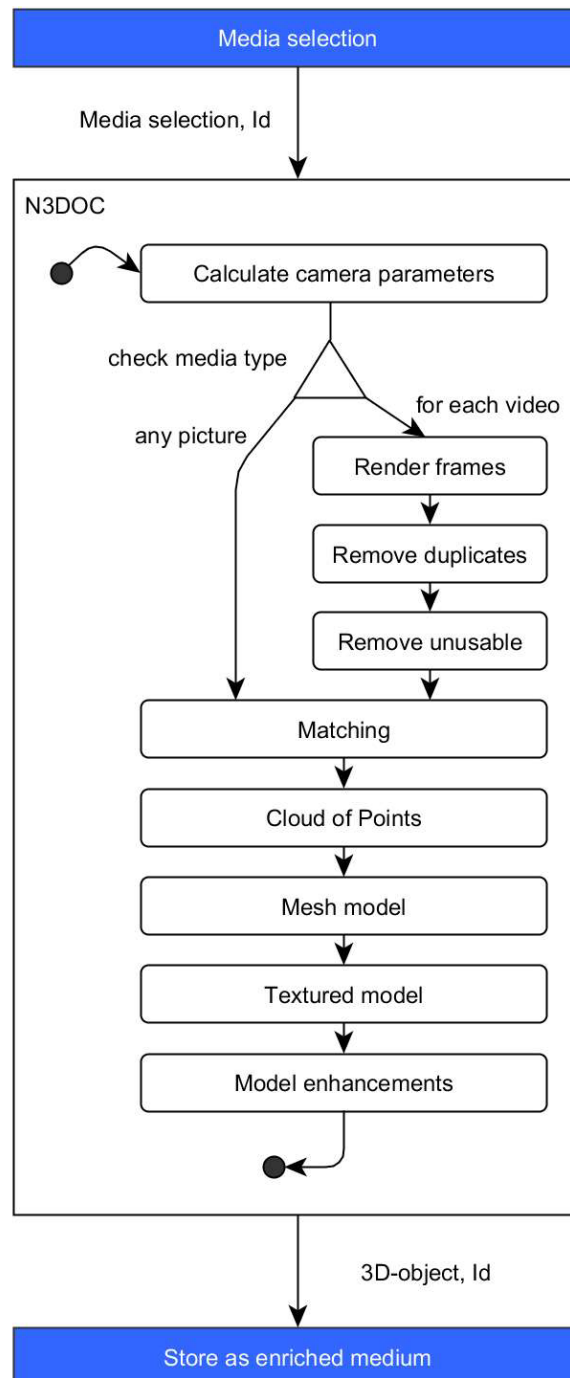


Abbildung 43: Ablauf des NOC3D Algorithmus. Die Medienauswahl sowie die Speicherung des 3D-Objektes wird extern von NOC3D durch NEMO durchgeführt (Bouck-Standen et al., 2017).

Die Rekonstruktion des 3D-Objektes beginnt damit, dass Verknüpfungspunkte von allen Bildern berechnet werden. Anschließend werden die Bilder mittels VisualSFM (Hlaváč, 2022) gruppiert. Dies ist notwendig, um das zu Objekt, welches rekonstruiert werden soll, in den Bildern automatisch zu finden. Jeweils zwei Bilder mit mindestens 40 Verknüpfungspunkten wer-

den zusammen gruppiert. Um ein Ergebnis mit hoher Qualität zu erhalten, werden alle Bilder mit einer Auflösung, die geringer als 1200x1200px ist, nicht berücksichtigt. Eine Bildergruppe, die anschließend aus weniger als zehn Bildern besteht, wird ebenfalls nicht berücksichtigt, da diese Gruppe sich für die weitere Berechnung nicht eignet. Diese Parameter wurden während der Entwicklung durch experimentelles Testen ermittelt. Dieser Prozess wird mit VisualSFM so lange wiederholt, bis alle Bilder verarbeitet wurden. Anschließend liegt eine Gruppe an Bildern vor, welche sich für die Rekonstruktion eignet. Im nächsten Schritt wird die „Center for Machine Perception Multiview Reconstruction Software“ (CMPMVS) (Hlaváč, 2022) genutzt, um eine Punktwolke des Objektes auf Basis der im ersten Schritt berechneten Kameraparameter zu berechnen (Furukawa & Ponce, 2010; Jancosek & Pajdla, 2011). CMPMVS transformiert die Punktwolke anschließend in ein Model und berechnet außerdem eine vorläufige Textur. Das Model wird mit der vorläufigen Textur an MeshLab (Cignoni et al., 2008) weitergegeben. Dabei werden zunächst kleine unerwünschte Artefakte, die nicht zu dem eigentlichen Objekt gehören, entfernt. Außerdem wird die Anzahl der Dreiecke, aus denen das 3D-Objekt besteht, auf 30.000 reduziert. Durch die Verkleinerung kann das Objekt in Webbrowsern eingesetzt werden und eignet sich ebenfalls für den Einsatz im AR-Autorenwerkzeug. MeshLab wird auch dazu verwendet, Lücken in dem rekonstruierten Model zu schließen, unerwünschte Ecken zu entfernen und das 3D-Objekt zu glätten. Nach der Konvertierung in ein NEMO kompatibles Dateiformat übergibt NOC3D das fertige Objekt an NEMO. NEMO speichert das 3D-Objekt zusammen mit den semantischen Annotationen der Ausgangsbilder, welche für die Berechnung verwendet wurden. Die semantischen Annotationen der Bilder, welche ausgeschlossen wurden, werden dabei nicht berücksichtigt. Nach Abschluss des Prozesses kann das 3D-Objekt in allen ALS-Anwendungen insbesondere dem AR-Autorenwerkzeug genutzt werden.



Abbildung 44: Bildschirmfoto eines 3D-Objektes, das mit NOC3D aus 225 Bildern, welche aus einer Videodatei extrahiert wurden, in einem automatisierten Prozess rekonstruiert wurde. Der blaue Hintergrund stammt von dem Programm zur Betrachtung von 3D-Objekten (Bouck-Standen et al., 2017).

Aufgrund des automatisierten Prozesses ist es unvermeidlich, dass 3D-Objekte teile der Umgebung beinhalten. Beispielsweise werden, wie in Abb. 44 gezeigt, das Gras und der steinige Untergrund um die Statue herum ebenfalls rekonstruiert. Wenn diese Bereiche entfernt werden sollen, ist eine weitere manuelle Bearbeitung des 3D-Objektes notwendig (Bouck-Standen et al., 2017).

6.3.3 Evaluation des NEMO-Converter 3D

Zu Evaluationszwecken wurde die Implementierung mit Serien von Fotos, welche mit unterschiedlichen Smartphones (Samsung SMG531F, Nokia Lumia 650 and 930, Motorola Moto G4 and X Play) aufgenommen wurden, getestet. Um die Qualität zu vergleichen, wurden ebenfalls Fotos von Digitalkameras (Olympus D595Z, Nikon D7000) verwendet. Von 20 unterschiedlichen Statuen, welche in der Stadt Lübeck verteilt stehen, wurden zunächst Fotos erzeugt. Diese wurden anschließend semantisch annotiert und in NEMO abgelegt. Das aufgenommene Bildmaterial kann nicht als "ideal" bezeichnet werden, da Fotos erzeugt wurden, die nur Teile der Objekte zeigen, ohne dass die Beleuchtung ideal war, wie sie in einem Laborsetting möglich wäre. Die Auswertung zeigt, dass durchschnittlich mindestens 110 Bilder erforderlich sind, um das resultierende 3D-Objekt als solches zu erkennen. Die maximale Anzahl der Bilder ist nur durch die Hardware-Ressourcen begrenzt. Unter Berücksichtigung des zeitaufwendigen Prozesses der 3D-Rekonstruktion sollten nicht mehr als 450 Bilder verwendet werden. Dieser Wert ergibt sich aus Experimenten und ist abhängig von der Komplexität der Objekte, der gewünschten Qualität, Hardwarekapazitäten und dem Nutzungsszenario.

Darüber hinaus zeigen die Tests, dass die Verwendung von Bildern mit der gleichen Auflösung die Leistung verbessert. Die Verwendung von Aufnahmen von symmetrischen Objekten, insbesondere vor symmetrischen oder sich wiederholenden Hintergründen führt zu unbrauchbaren 3D-Objekten. Die Verwendung von mehr Fotos führt nicht unbedingt zu einer Verbesserung des Ergebnisses. Im Allgemeinen führen eine höhere Auflösung des Filmmaterials sowie die Verwendung von mehreren Bildern zu detaillierteren 3D-Objekten.

Die Verarbeitung der Beispielmodelle auf einem dedizierten System mit einer Nvidia GeForce GTX 560 dauert jeweils zwischen vier und acht Stunden, abhängig von der Komplexität des Modells und der Menge der zu verarbeitenden Daten (Bouck-Standen et al., 2017).

Der NEMO-Converter 3D wurde ebenfalls für die Erstellung von 3D-Objekten für das Buddenbrookhaus Lübeck erprobt. Die Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der professionellen Software von Agisoft Metashape verglichen. Da die Qualität der 3D-Objekte welche von Meta-

shape rekonstruiert deutlich besser als die Qualität der Ergebnisse des NEMO-Converters 3D waren, wurde für die Umsetzung der AR-Tour in den Partnereinrichtungen auf die Verwendung von Metashape zurückgegriffen. Der NEMO-Converter 3D hatte insbesondere Probleme bei der Rekonstruktion von Objekten, welche in Innenräumen bei künstlichem Licht fotografiert wurden und bei Objekten, welche glänzende Oberflächen hatten. Da der Prozess der 3D-Objekt Erstellung sehr komplex und zeitaufwendig war, wurde die Erzeugung der 3D-Objekte von für die AR-Tour des Buddenbrookhauses in Lübeck von Mitarbeiter:innen des ALS-Projekts übernommen. Um Kurator:innen die Möglichkeit zu bieten, 3D-Objekte selbstständig zu erzeugen ist es erforderlich, ihnen eine detaillierte Anleitung für die Erstellung der Fotos des physischen Objekts

bereitzustellen. In der Anleitung sollte unter anderem erläutert werden, wie viele Fotos benötigt werden, von welcher Perspektive aus die Fotos erzeugt werden sollten, welcher Untergrund die besten Ergebnisse hervorbringt und welche Lichtverhältnisse am besten geeignet sind. Außerdem sollte der NEMO-Converter 3D technisch überarbeitet werden, sodass die Qualität der Ergebnisse weiter verbessert wird.

6.4 3DEdit

Im vorigen Abschnitt wurde das Problem beschrieben, dass bei der Rekonstruktion von 3D-Objekten mit NOC3D Elemente der Umgebung ebenfalls rekonstruiert werden, obwohl diese nicht immer Teil des gewünschten 3D-Objektes sein sollen. Außerdem kommt es bei der Nutzung von NOC3D vor, dass Objekte nicht automatisch korrekt ausgerichtet werden. Damit diese durch die Rekonstruktion entstehenden Probleme korrigiert werden können, wurde 3DEdit als webbasierte Anwendung zur Bearbeitung von 3D-Objekten entwickelt. 3DEdit wird in der Publikation „Reconstruction and Web-based Editing of 3D-Objects from Photo and Video Footage for Ambient Learning Spaces“ detailliert beschrieben (Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018).

6.4.1 Benötigte Features zur Korrektur von 3D-Objekten

Um die Probleme zu korrigieren, die durch die automatische Rekonstruktion mit NOC3D entstehen werden folgende Funktionen benötigt:

- Neuausrichtung der 3D-Objekte, die den Mittelpunkt des Objektes und die Standardausrichtung entsprechend den Anforderungen der Nutzer:innen festlegt

- Ausschneiden überflüssiger Teile des 3D-Objektes

6.4.2 3DEdit Frontend

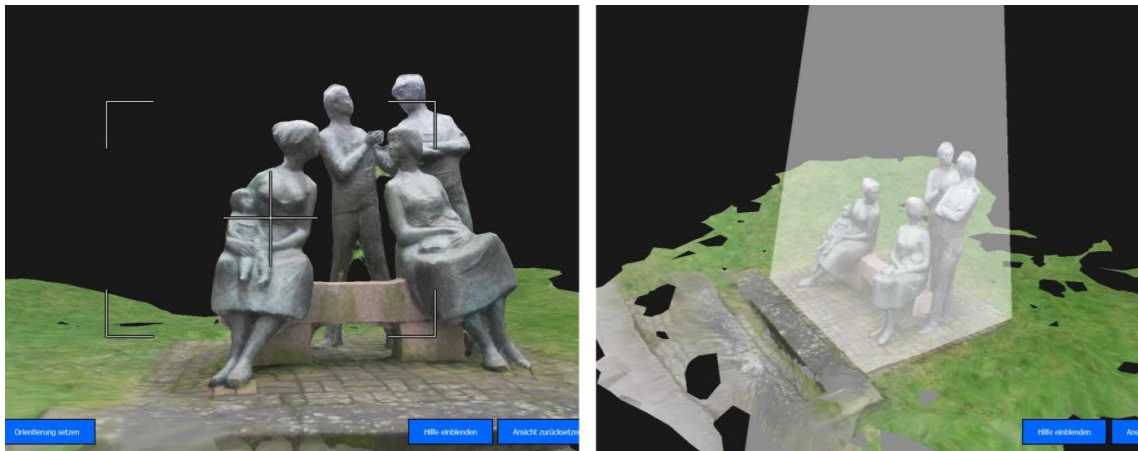


Abbildung 45: (Links) Bildschirmfoto des Neuausrichtungsmodus für 3D-Objekte. (Rechts) Bildschirmfoto des Modus zum Ausschneiden des 3D-Objektes (Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018).

Das Frontend von 3DEdit wurde mit HTML, CSS und JavaScript entwickelt. Es bietet eine browserbasierte Schnittstelle, damit die Bearbeitung ohne die Installation zusätzlicher Programme ermöglicht wird. Über diese Schnittstelle, die mit NEMO verbunden ist, werden die notwendigen Funktionen vereinfacht und automatisiert, sodass nur noch wenige Eingaben durch die Nutzer:innen erforderlich sind. Auf diese Weise können auch unerfahrene Nutzer:innen die notwendigen Anpassungen vornehmen. Um 3D-Objekte auszurichten, wurde ein Ausrichtungsmodus in 3DEdit implementiert (siehe Abb. 45 links). In diesem Modus kann die Orientierung des Objektes durch die Nutzer:innen so angepasst werden, dass das 3D-Objekt aufrecht steht und die Ausrichtung auf die Vorderseite des 3D-Objektes eingestellt wird. Außerdem wurde ein Modus zum Ausschneiden des 3D-Objektes implementiert (siehe Abb. 45 rechts). In diesem Modus kann eine Box definiert werden, welche den Bereich darstellt, der aus dem Objekt ausgeschnitten werden soll. Das resultierende Objekt beinhaltet nach dem Schnitt nur noch die Teile, welche innerhalb der Box dargestellt werden (Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018).

6.4.3 Verarbeitung der 3D-Objekte

Die Bearbeitung des 3D-Objektes erfolgt innerhalb von NEMO. Die Kommunikation der Module erfolgt über Web-Services, die das Frontend von 3DEdit mit NEMO verbindet. Zur Umsetzung der Korrekturen nutzt NEMO im Backend die 3D-Plattform Blender. Alle 3D-Objekte, die

aus Aufnahmen von physischen Objekten rekonstruiert werden, wie z. B. Statuen und Skulpturen haben gemeinsam, dass sie auf einer Grundfläche stehen und ihre Höhe begrenzt ist. Aus diesem Grund kann die unerwünschte Umgebung entfernt werden, indem um den gewünschten Bereich eine Box gelegt wird. Die Bereiche des 3D-Objektes, außerhalb der Box werden entlang der ausgewählten Kante abgeschnitten. Nachdem das 3D-Objekt ausgerichtet ist und alle unerwünschten Bereiche im Frontend von 3DEdit markiert wurden, führt das Backend von 3DEdit die notwendigen Aktionen durch, um das korrigierte 3D-Objekt zu berechnen. Dabei werden die Parameter der Auswahl der Nutzer:innen von der webbasierten Oberfläche an das Backend übertragen und in die notwendigen Änderungsbefehle übersetzt. Nach der Bearbeitung kann das fertige 3D-Objekt in allen ALS-Anwendungen insbesondere dem AR-Autorenwerkzeug verwendet werden (Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018).

6.4.4 Qualität und Laufzeit

Die Nutzung von 3DEdit hat keinen negativen Einfluss auf die Qualität der 3D-Objekte. Die Laufzeit sowohl für die Neuausrichtung als auch für Schnittänderungen ist linear. 3DEdit kann auch verwendet werden, um bestimmte Teile eines größeren Modells zu extrahieren. In Bezug auf die Laufzeit gibt es keinen Unterschied zwischen dem Entfernen einer unerwünschten Umgebung oder dem Extrahieren von Teilen eines bestehenden 3D-Objektes. Dies kann auch bei 3D-Objekten beobachtet werden, die nicht mit NOC3D generiert, sondern mit kommerziellen Werkzeugen rekonstruiert wurden (Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018).

6.5 Dynamische Programmierung

Bei der Umsetzung der Fallstudien kam von den Kurator:innen der Wunsch auf, dass sie ihren Besucher:innen gerne interaktive animierte Objekte im Rahmen ihrer AR-Tour bereitstellen möchten, da die animierten Elemente lebendiger wirken und sie die Besucher:innen spielerisch einbeziehen. Damit dies im Rahmen des AR-Autorensystems möglich wird, wurde das Konzept zur dynamischen Programmierung erforscht, implementiert und mit prototypischen Umsetzungen evaluiert. Ziel des Systems zur dynamischen Programmierung ist, dass Nutzer:innen ohne Programmierkenntnisse interaktive animierte AR-Elemente während der Laufzeit der InfoGrid AR-Anwendung dynamisch in die AR-Tour einfügen können. Um dies zu erreichen, wurde eine neue Overlay-Art, welche wir in dem ALS-Forschungsprojekt AssetCollection benannt haben, entwickelt. Eine AssetCollection kann alle Arten von Assets beinhalten, z.B. 3D-Modelle, Texturen, Audiodateien, Animationen, dynamisches Verhalten. Dabei können die AssetCollections, wie andere Medieninhalte, unabhängig vom AR-Autorensystem entwickelt werden. Nach der Erzeugung können sie während der Laufzeit von der mobilen AR-Anwendung InfoGrid dynamisch nachgeladen und direkt in der AR-Tour verwendet werden. Auf diese Weise ist es nicht erforderlich InfoGrid im Android- oder iOS-Store zu aktualisieren, falls eine neue AssetCollection erzeugt und einer AR-Tour hinzugefügt wurde. Mit der Verwendung von AssetCollections können komplexere AR-Touren erzeugt werden. Die Erstellung der AssetCollections kann auch von einer externen Agentur oder einem Designer übernommen werden. Die dynamische Programmierung wird in der mit einem Best Paper Award ausgezeichneten Publikation „An Augmented Reality Tour Creator for Museums with Dynamic Asset Collections“ detailliert beschrieben (Ohlei et al., 2020b).

6.5.1 Das Konzept von AssetCollections

Die AR-Anwendung InfoGrid wurde mit der Entwicklungsplattform Unity implementiert. Das Konzept der AssetCollections ist aber nicht plattformabhängig und kann auf andere Entwicklungsumgebungen, wie beispielsweise der Unreal-Engine, übertragen werden. AssetCollections können aus einzelnen oder einer Kombination unterschiedlicher Medienarten z.B. 3D-Modellen, Texturen, Audiodateien, Videodateien, Animationen und dynamischen Verhalten bestehen. Die 3D-Modelle und Animationen können für die Verwendung im Rahmen der AssetCollections mit beliebigen Modellierungs-Werkzeugen, wie beispielsweise Blender oder 3D-Studio Max, erzeugt werden. AssetCollections werden als plattformspezifische ZIP-Dateien im NEMO-Medienrepository gespeichert. InfoGrid fragt die NEMO-API beim Start einer Tour nach den

referenzierten Medien und lädt diese in den Anwendungscache. Während der Laufzeit werden die AssetCollections wie 3D-Objekte dynamisch in die Umgebung eingebunden (siehe Abb. 46). Ausführbarer C# Code kann in AssetCollections aus Sicherheitsgründen nicht direkt mitgeliefert werden, da dadurch beliebiger Code ohne Prüfung durch die Stores eingebunden werden kann. AssetCollections können aber auf vorgefertigte Methoden in InfoGrid zurückzugreifen, um vorgefertigte Funktionen auszuführen. Falls bei den Methoden noch ein benötigtes Verhalten fehlt, kann dies in InfoGrid in verallgemeinerter Form ergänzt werden, sodass es beim nächsten Update von InfoGrid in den Stores für alle zukünftigen AssetCollections zur Nutzung zur Verfügung steht.

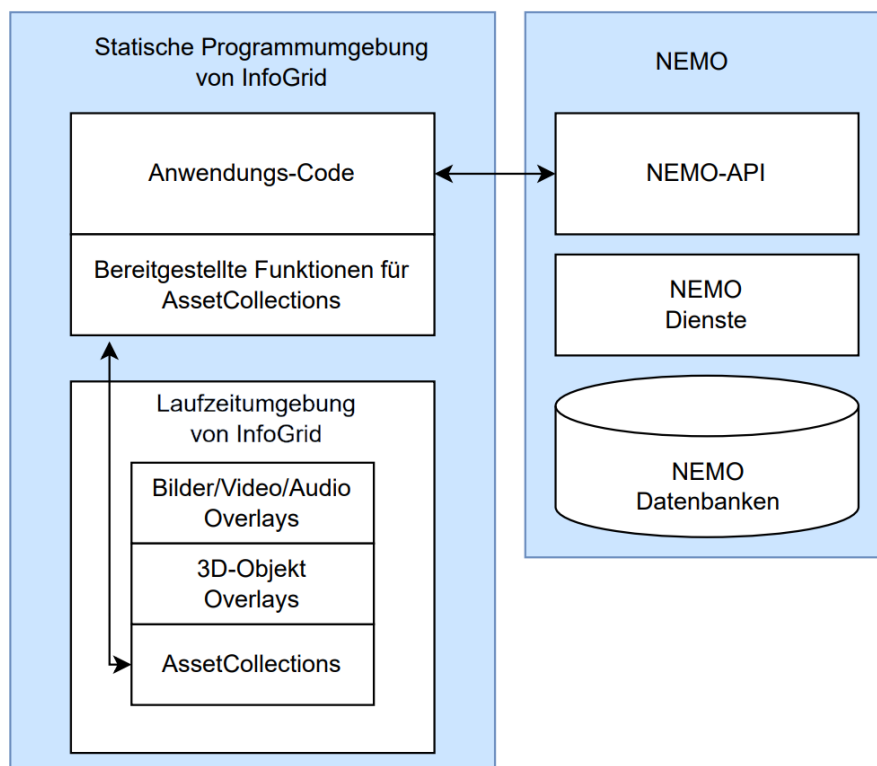


Abbildung 46: Darstellung des Zusammenhangs von InfoGrid und NEMO. AssetCollections sind als ZIP-Datei in der NEMO-Datenbank abgelegt, werden über die NEMO-API ausgeliefert und dynamisch in die Laufzeitumgebung von InfoGrid importiert. Sie können auf bereitgestellte Funktionen in InfoGrid zugreifen.

Die Erzeugung von AssetCollections setzt voraus, dass das AssetCollection Unity-Projekt und die Ausgangsmidien in Unity importiert werden. Anschließend können weitere Unity-spezifische Anpassungen an den importierten Medien ergänzt werden. Außerdem kann der Unity Animator verwendet werden, um Touch-Verhalten der Nutzer:innen mit Animationen zu verknüpfen. Wenn die Arbeiten abgeschlossen sind, kann der AssetCollection-Creator verwendet werden (siehe Abb. 47).

6.5.2 Der AssetCollection Creator

Der AssetCollection Creator wurde als Erweiterung der Unity-Entwicklungsumgebung gestaltet und ermöglicht den Export der Inhalte über eine eigene Benutzungsschnittstelle.

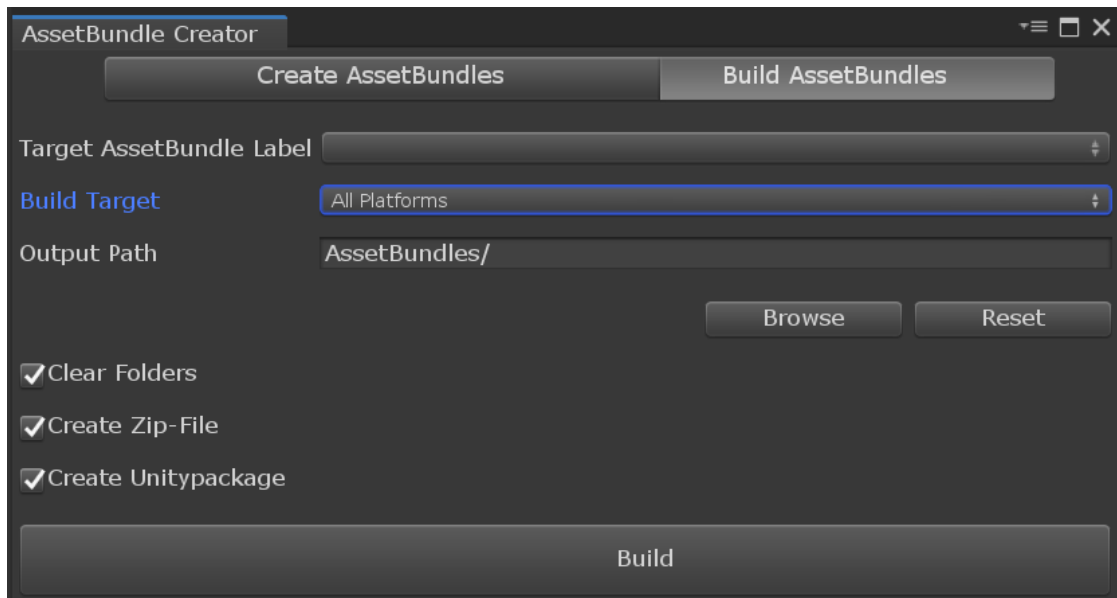


Abbildung 47: Das Add-in Fenster des AssetCollection Creators innerhalb der Unity-Entwicklungsumgebung.

Über das dargestellte Interface kann das gesamte Projekt in jeweils einen Android-Build und in einen iOS-Build zusammengefasst und als zwei plattformspezifische ZIP-Dateien gespeichert werden. Die beiden resultierenden ZIP-Dateien können anschließend über ALS-Portal in das NEMO-Repository hochgeladen und einem oder mehreren AR-Targets einer AR-Tour zugewiesen werden.

6.5.3 Evaluation der AssetCollections

Im Rahmen eines Bachelorprojektes, welches vom Autor dieser Arbeit betreut wurde, haben drei Studierende jeweils eine interaktive Szene mit Unity für die AR-Tour im Museum für Natur und Umwelt erzeugt. Die erzeugten Szenen umfassten ein interaktives Puzzle, einen interaktiv animierten Delfin sowie ein animiertes Dino Ei. Inhaltlich wurden sie dabei von der Museumsleiterin unterstützt. Nach der Fertigstellung der Szenen wurden diese von dem Autor dieser Arbeit sowie weiteren wissenschaftlichen Mitarbeitern des ALS-Projektes technisch geprüft und an einigen Stellen korrigiert. Anschließend wurde den Studierenden eine schriftliche Anleitung zur Verfügung gestellt, anhand welcher sie den Prozess der Erstellung der AssetCollections aus ihren Szenen erproben sollten. Die Erzeugung aller AssetCollections war dabei erfolgreich. Bei

der Erstellung sind jedoch einige Fragen aufgetreten, da die Anleitung noch nicht detailliert genug beschrieben war. Alle von den Studierenden erzeugten AssetCollections wurden nach ihrer Fertigstellung fester Bestandteil der AR-Tour des Museums für Natur und Umwelt. Für das Buddenbrookhaus wurde ebenfalls eine AR-Tour entwickelt, in der alle interaktiven Elemente in Form von AssetCollection erzeugt wurden. Diese AssetCollections bestanden aus rekonstruierten 3D-Objekten und einer Audiodatei, die parallel zu der Darstellung der Objekte abgespielt wurde. Die AssetCollections wurden von einem Mitarbeiter des ALS-Projektes angelegt und vom Autor dieser Arbeit geprüft und von der Komprimierung und Beleuchtung her optimiert. Dadurch konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche AssetCollections in unterschiedlichen AR-Touren in InfoGrid fehlerfrei dynamisch geladen werden können. Außerdem wurde gezeigt, dass mehr als fünf AssetCollections in einer Tour genutzt werden können, ohne dass es zu Problemen in der Darstellung und der Leistung der App kommt. Dies belegt die Machbarkeit des Konzeptes und erweitert das Autorensystem, um die Möglichkeit komplexe Szenen dynamisch in die AR-Touren einzubetten. Aufgrund der Komplexität in der Gestaltung von AssetCollections ist es in der derzeitigen Version nicht vorgesehen, dass diese durch Kurator:innen erzeugt werden. Für diese Inhalte ist eine Unterstützung von Fachleuten erforderlich. Obwohl die AssetCollections von Fachleuten erzeugt werden, behalten Kurator:innen weiterhin die Kontrolle über die Auswahl und die Platzierung der Elemente innerhalb der AR-Tour.

7 InfoGrid: Ein Darstellungssystem für AR-Touren

Das InfoGrid AR-System besteht aus zwei Teilen, dem Autorensystem (siehe Abschnitt 5) und der Smartphone App InfoGrid. Das AR-Autorensystem, welches detailliert in der Publikation „InfoGrid: An Approach for Curators to Digitally Enrich their Exhibitions“ (Ohlei, Bouck-
Standen, et al., 2018) vorgestellt wird, kann über das webbasierte ALS-Portal genutzt werden. Dieser Abschnitt geht auf InfoGrid ein, dass auch in der Publikation „InfoGrid: Acceptance and Usability of Augmented Reality for Mobiles in Real Museum Contexts“ (Ohlei et al., 2018a) beschrieben wird. Mit InfoGrid können die Nutzer:innen AR-Touren über ihr Smartphone oder Tablet abrufen, welche zuvor über das ALS-Portal erstellt wurden.

7.1 Konzeption von InfoGrid

InfoGrid wurde als dynamische Smartphone und Tablet-App für das Android- und das iOS-Betriebssystem konzipiert, die in mehreren Museen in unterschiedlichen Sprachen einsetzbar sein sollte. Anders als bei individuellen Museumsapps, die nur in einer Einrichtung genutzt werden können, wurde InfoGrid so entwickelt, dass es an mehreren Standorten eingesetzt werden kann. Außerdem wurde InfoGrid so konzipiert, dass die Tour-Inhalte aller Museen dynamisch aus NEMO geladen und dass Änderungen an den Touren direkt verfügbar werden, ohne dass InfoGrid in dem Google- und Apple-Store aktualisiert werden muss. Aus der Recherche bestehender AR-Autorensysteme (siehe Abschnitt 2.2.2) und der qualitativen Befragungen der Partnermuseen, wurden die für InfoGrid benötigten Features ermittelt. Diese werden in folgender Liste aufgeführt:

1. Mehrsprachigkeit (QA)
2. Institutions- und Tourauswahl
3. Darstellung eines Einführungsdialoges
4. AR-Overlays in folgenden Formaten: Bilder, Video, Audio, 3D, AssetCollections
5. System zur Platzierung von AR-Inhalten (QA)
6. Besucherführungsfunktion mittels einer Karte innerhalb von InfoGrid (QA)

7. Anzeige von einem Datenschutz und Impressum
8. Funktionalität zur Erfassung von Logdaten

Die mit QA gekennzeichneten Features von InfoGrid wurden in Qualifizierungsarbeiten ausgearbeitet. Nach der Ausarbeitung der Qualifizierungsarbeiten wurden Teile der Komponenten noch von wissenschaftlichen Mitarbeitern des ALS Projektes sowie vom Autor dieser Arbeit überarbeitet.

1. Mehrsprachigkeit: Bei der Ausarbeitung der Fallstudien in den Partnermuseen hat sich gezeigt, dass die Museen viele Besucher:innen haben, welche die Deutsche Sprache nicht als Muttersprache sprechen. Die Umfrageergebnisse aus Abschnitt 3.2 haben außerdem gezeigt, dass ca. 88% der befragten Museen Besucher:innen haben, die gar kein Deutsch sprechen. Damit auch diese Nutzer:innen InfoGrid nutzen können, ist die Bereitstellung der Möglichkeit eines Wechsels der Sprache innerhalb von InfoGrid wichtig. Die Dialoge dieser Funktion werden in Abschnitt 7.3 vorgestellt.

2. Institutions- und Tourauswahl: Da InfoGrid in mehreren Museen eingesetzt werden soll, wird es so konzipiert, dass nach dem Start ein Auswahlmenü erscheint, welche den Nutzer:innen die Möglichkeit gibt, die gewünschte Institution und die Tour auszuwählen. Außerdem wird InfoGrid so konzipiert, dass die App über das verbundene Netz bereits eine Vorauswahl der Institution durchführen kann. Die Funktion wird in Abschnitt 7.5 genauer beschrieben. Die Dialoge dieser Funktion werden in Abschnitt 7.3 vorgestellt.

3. Darstellung eines Einführungsdialoges: Nach dem Start der Tour ist es wichtig, Nutzer:innen einen Überblick über die Ausstellung zu geben und zu erläutern, wo die Targets gefunden werden können. Dafür wurde ein Einführungsdialogfeld entwickelt, welche mit einer Beschreibung in Textform sowie einem Video ausgestattet werden können. Die Dialoge dieser Funktion werden in Abschnitt 7.3 vorgestellt.

4. AR-Overlays: Aufbauend auf dem Bedarf der Partnermuseen sowie auf Basis der Ergebnisse der Analyse der bestehenden AR-Systeme aus Abschnitt 2.2.2 wurden die Medientypen und Overlay-Arten herausgestellt, welche für InfoGrid relevant sind. Dabei wurden als Medienarten für die AR-Anreicherungen: Texte, Bilder, Videodateien, Audiodateien sowie 3D-Objekte ermittelt. Außerdem wurden zwei Arten konzipiert mit denen AR-Anreicherungen dargestellt werden können. Bei der ersten Overlay-Art werden die Medien in Bezug zu dem physischen Raum in einer registrierten Überlagerung dargestellt. Bei der zweiten Overlay-Art wird nach der Erkennung des Targets die Medienwiedergabe im Vollbildmodus gestartet. Eine weitere Verfolgung der Targets findet nicht statt. Als weitere Zusatz Funktion wurde in dieser Arbeit die

Einbindung von AssetCollections konzipiert. Diese ermöglichen es, den Ersteller:innen von AR-Touren ganze Szenen dynamisch in eine AR-Tour zu integrieren. Diese Szene wird nach der Erkennung des Targets entweder als Overlay oder als Vollbild Darstellung angezeigt. Die unterschiedlichen AR-Overlay-Arten werden in Abschnitt 7.4 vorgestellt.

5. System zur Platzierung von AR-Inhalten: Bei der Erstellung von AR-Touren in Zusammenarbeit mit den Partnermuseen wurde herausgestellt, dass es für die Museen wichtig ist, 3D-Objekte im Raum in Relation zu der physischen Ausstellung platzieren zu können. Daher wurde für InfoGrid ein System konzipiert, mit dem Objekte platziert werden können. Die gewählte Platzierung wird anschließend in NEMO gespeichert und den Nutzer:innen von InfoGrid dargestellt. Diese Funktion wird in Abschnitt 7.7 beschrieben.

6. Besucherführungsfunktion: Damit Besucher:innen durch die Ausstellung zu den einzelnen Stationen in der richtigen Reihenfolge geführt werden können, wird ein Kartensystem konzipiert. Dieses Kartensystem soll es den Museen ermöglichen die Standorte der Stationen auf einem Grundriss zu markieren und mit einer Reihenfolge zu versehen. Diese sollen die Nutzer:innen anschließend bei der Verwendung der Tour abrufen können. Diese Funktion wird in Abschnitt 7.8 beschrieben.

7. Anzeige von einem Datenschutz und Impressum: Um Nutzer:innen von InfoGrid über den Datenschutz innerhalb der App zu informieren wurde eine Funktion zur Weiterleitung auf die Datenschutz Webseite des ALS-Projektes konzipiert. Außerdem wurde eine weitere Schaltfläche auf die Impressum Webseite des ALS-Projektes konzipiert. Die Dialogfelder werden in der Menüführung der App in Abschnitt 7.3 vorgestellt.

8. Funktionalität zur Erfassung von Logdaten: Um Kurator:innen die Möglichkeit zu geben, das Verhalten der Besucher:innen anonym auszuwerten wurde in InfoGrid eine Funktion konzipiert, welche das Nutzerverhalten an NEMO übermittelt. Die Nutzungsdatenerfassung innerhalb von InfoGrid wird in Abschnitt 7.6 beschrieben.

Die Konzeption der Menüführung von InfoGrid wird in Abb. 48 in Form eines Diagramms dargestellt, welches sich an dem Aufbau von Flussdiagrammen orientiert.



Abbildung 48: Visuelle Darstellung des Ablaufs der Nutzung von InfoGrid. (Links) Darstellung der Nutzungsschritte innerhalb der App. (Rechts) Darstellung der Funktionen des InfoGrid Menüs.

Nach dem Start von InfoGrid, wird im ersten Schritt das Dialogfeld zur Sprachauswahl dargestellt. Dies ist als erster Schritt erforderlich, damit alle folgenden Dialoge in der gewünschten Sprache dargestellt werden können. Anschließend werden den Nutzer:innen Onboarding Dialoge dargestellt, die über die Funktionsweise der App informieren. Im nächsten Schritt werden die Nutzer:innen zu dem Menü der Institutionsauswahl sowie der Touorauswahl weitergeleitet. Darüber haben sie die Möglichkeit die gewünschte Tour auszuwählen und zu starten. Anschließend wechselt die App in den AR-Modus und stellt den Nutzer:innen einen Einführungsdialog dar, der über die Tour in der Einrichtung informiert. Anschließend können die Nutzer:innen die AR-Elemente abrufen, die Führung aufrufen, oder das App Menü verwenden.

7.2 Benutzungsschnittstelle von InfoGrid

Zunächst laden die Nutzer:innen InfoGrid über ihren Android oder iOS Store auf ihr Smartphone (siehe Abb. 49 links) und rufen die App anschließend auf. Nachdem InfoGrid aufgerufen wurde, stellt die App Nutzer:innen einen Dialog zur Auswahl der Sprache dar (siehe Abb. 49 rechts).

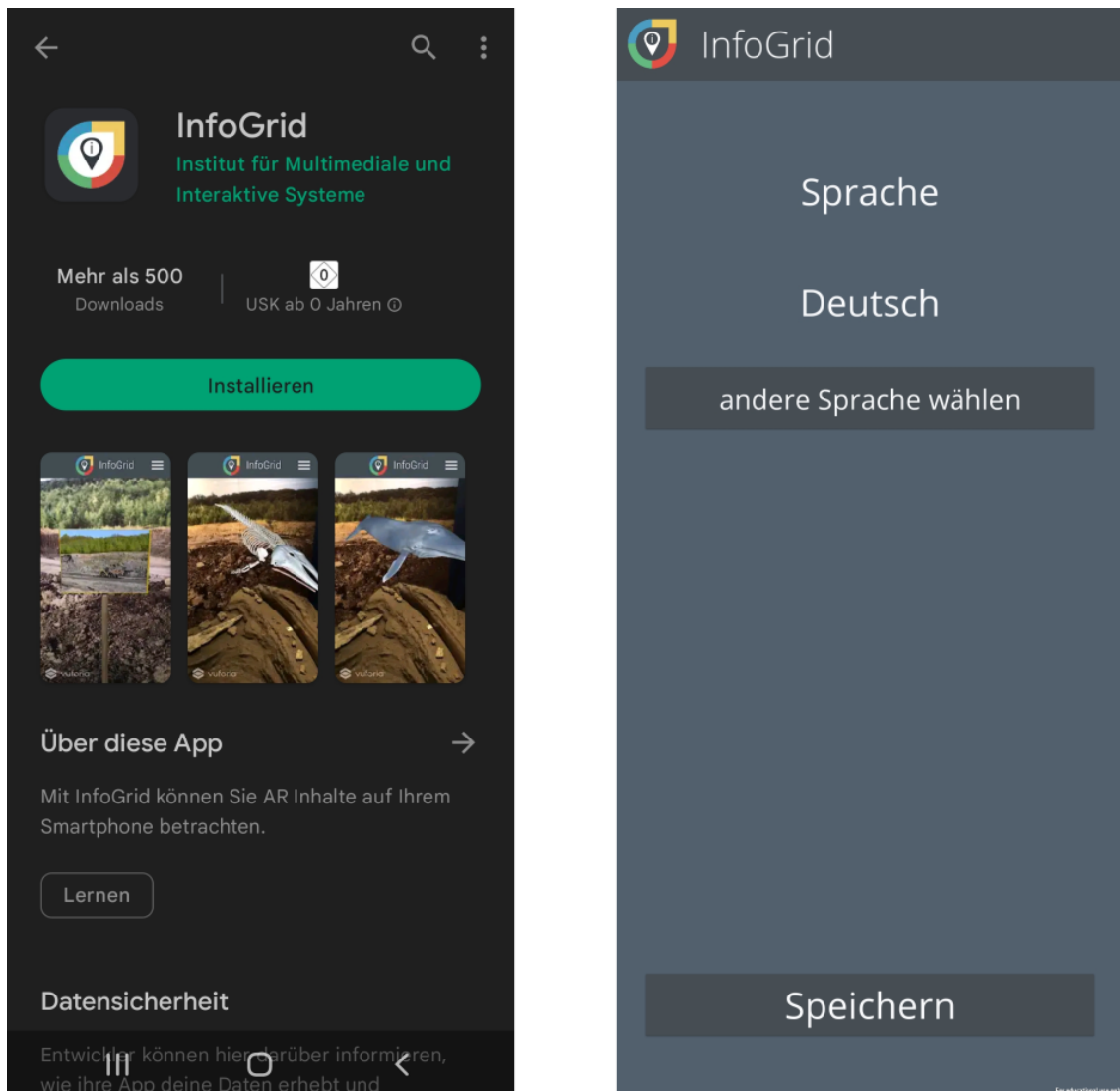


Abbildung 49: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Download Seite im App Store. (Rechts) Menü zur Auswahl der Sprache.

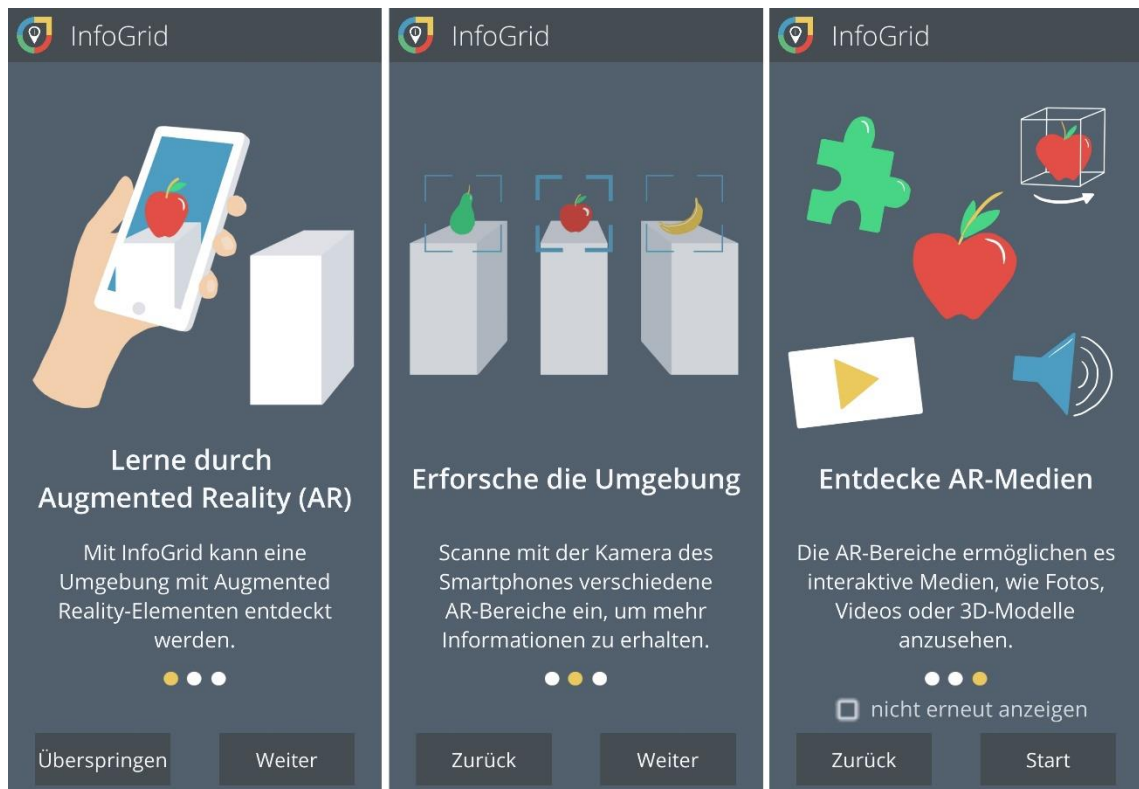


Abbildung 50: Bildschirmfotos der Drei Onboarding-Dialoge innerhalb von InfoGrid. Auf der dritten Seite kann eine Checkbox aktiviert werden, sodass die Dialoge beim nächsten Start der App nicht erneut dargestellt werden.

Alle Sprachen, die zuvor im ALS-Portal (siehe Abschnitt 5.4) vollständig definiert wurden, stehen den Nutzer:innen zur Auswahl. Nach dem Wechsel der Sprache werden alle Texte, welche auf Schaltflächen und in den Dialogen von InfoGrid dargestellt werden, in der ausgewählten Sprache dargestellt. Die Medieninhalte der Touren werden durch die Umstellung nicht übersetzt. Um Touren in weiteren Sprachen abrufen zu können, ist es erforderlich, dass diese durch die Autoren auch in übersetzter Form über das ALS-Portal angelegt werden. Anschließend stellt InfoGrid drei Onboarding-Dialoge dar, welche Informationen zur Nutzung der App bereitstellen (siehe Abb. 50).

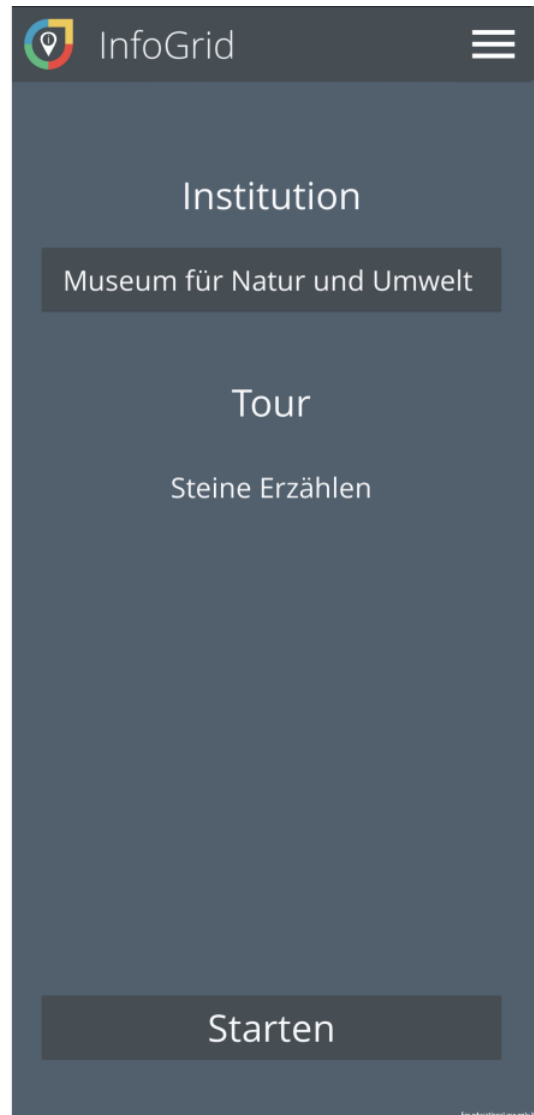


Abbildung 51: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Dialogfeld zur Auswahl der Institution. (Rechts) Dialogfeld zur Auswahl der Tour. Falls mehrere Touren verfügbar sind, werden diese, wie in dem Bildschirmfoto links, als Dropdown-Menü zur Auswahl gestellt.

Nachdem Nutzer:innen die Dialoge durchgesehen oder übersprungen haben, wird ein Dialog zur Auswahl der Institution dargestellt (siehe Abb. 51 links), von der aus die AR-Tour abgerufen werden soll. Wenn eine Institution ausgewählt wurde, erscheint im gleichen Dialog ein Auswahlmenü, das alle AR-Touren auflistet, die in dieser Institution verfügbar sind (siehe Abb. 51 rechts).

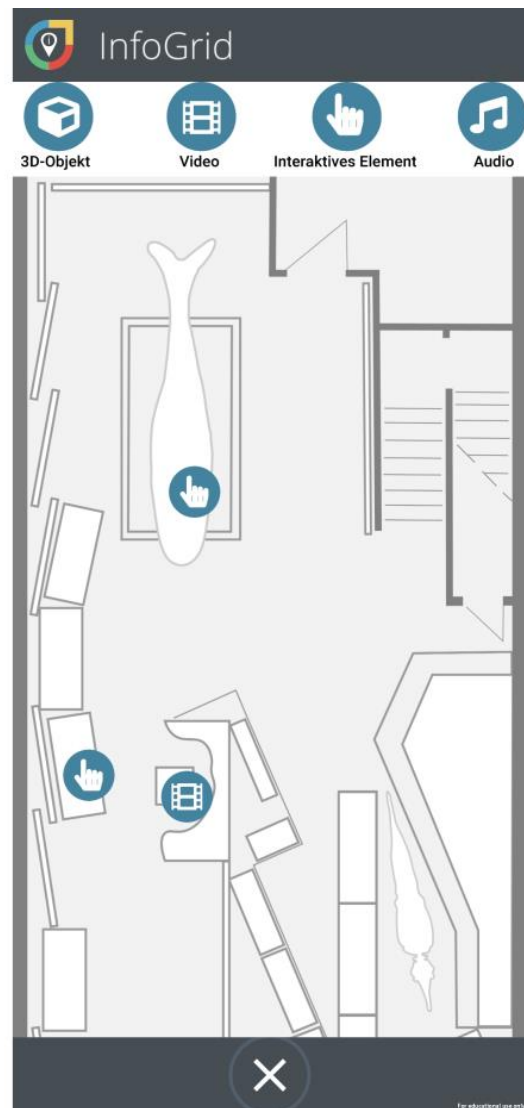
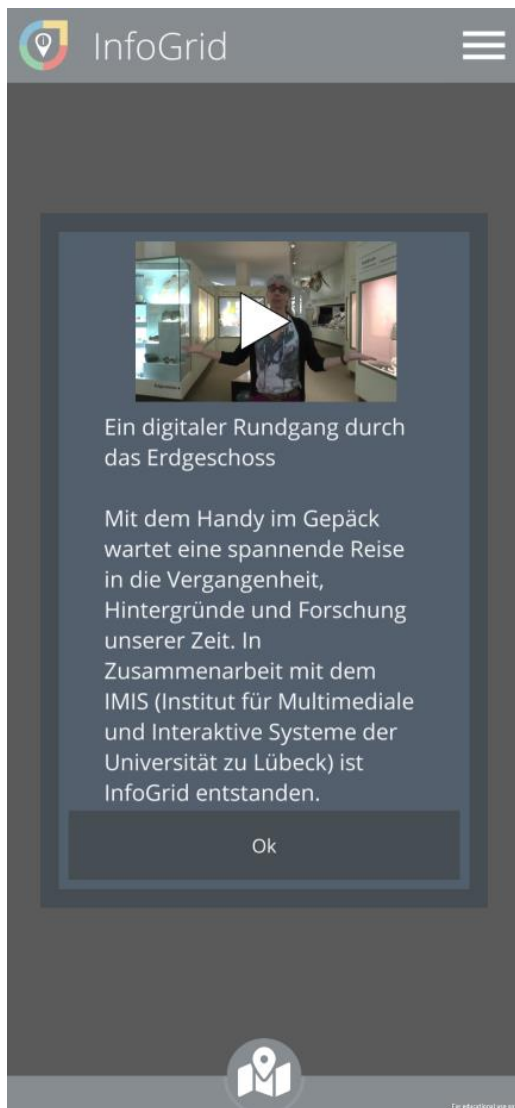


Abbildung 52: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Dialogfeld zur Einführung der Museumsbesucher:innen in die Tour des Museums für Natur und Umwelt. (Rechts) Darstellung des Grundrisses der Ausstellung im Museum für Natur und Umwelt mit Angaben dazu, wo die AR-Targets im Museum zu finden sind.

Nach der Auswahl der gewünschten Tour kann diese über den „Starten“ Button aufgerufen werden. Beim Start einer Tour stellt die App zunächst einen Einführungsdialog dar, sofern dieser in der ausgewählten Tour eingerichtet wurde (siehe Abb. 52 links). Wenn die Darstellung des Einführungsdialogs geschlossen wird, wechselt InfoGrid in den AR-Modus und stellt die Umgebung, welche durch die Kamera erfasst wird, auf dem Display des Mobilgerätes dar. Um einen Überblick über die Stationen der Tour zu erhalten, kann eine Kartenansicht der Umgebung innerhalb von InfoGrid aufgerufen werden, welche die Nutzer:innen durch die Ausstellung führt (siehe Abb. 52 rechts).

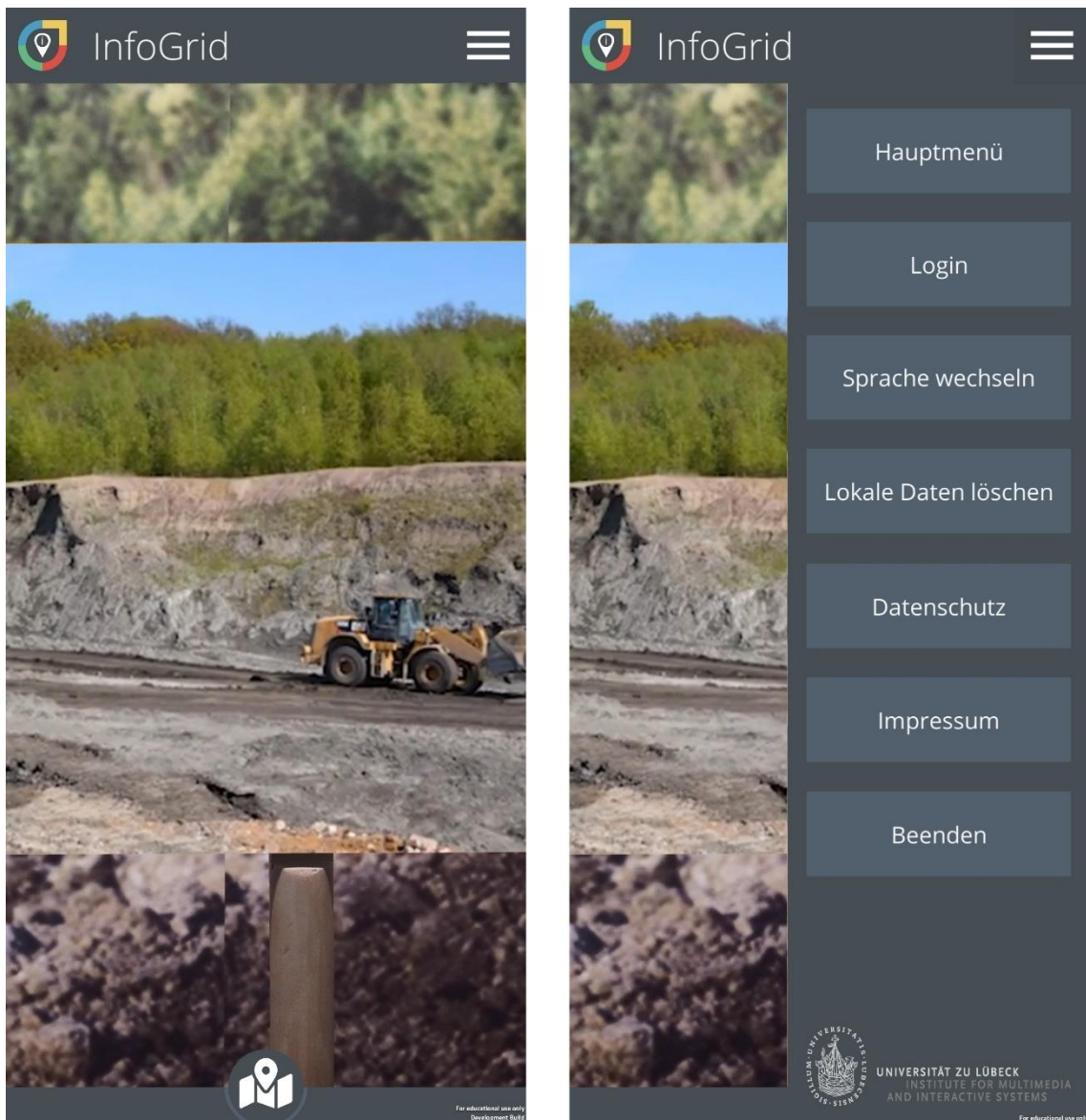


Abbildung 53: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Darstellung eines Video-Overlays auf einem Hintergrund im Museum für Natur und Umwelt. (Rechts) Darstellung des Menüs von InfoGrid.

Wenn das Mobilgerät bei einer Station der Tour auf das Target gerichtet wird und das Target durch die Kameraansicht erfasst wird, stellt InfoGrid die entsprechend eingerichtete AR-Anreicherung zu dem Target dar (siehe Abb. 53 links). Die verschiedenen AR-Overlay-Arten, welche von InfoGrid dargestellt werden können, werden im Abschnitt 7.3 vorgestellt. Während der Nutzung von InfoGrid kann ein Menü aufgerufen werden. Darin können folgende Funktionen ausgeführt werden (siehe Abb. 53 rechts):

- Zum Hauptmenü wechseln
- Sprache wechseln

- Lokale Daten löschen
- Datenschutz aufrufen
- Impressum aufrufen
- Login in den Bearbeitungs-Modus
- InfoGrid beenden

Falls der Menüpunkt „zum Hauptmenü wechseln“ ausgewählt wird, beendet InfoGrid die aktuelle Tour und wechselt in das Hauptmenü. Auf diese Weise kann eine andere Tour gestartet werden. Wenn Nutzer:innen die Sprache der InfoGrid Oberfläche wechseln möchten, kann dies über den Menüpunkt „Sprache wechseln“ durchgeführt werden. Über den Menüpunkt „Löschen der lokalen Daten“ werden alle Tour-Inhalte, die InfoGrid zwischengespeichert hat, sowie alle Einstellungen der App gelöscht. Über die Funktionen „Datenschutzes Aufrufen“ bzw. „Impressum Aufrufen“ wird der Webbrowser des Mobilgerätes gestartet und die Datenschutz- bzw. Impressumwebseite des ALS-Forschungsprojektes aufgerufen. Wenn der Login in den Bearbeitungsmodus ausgewählt wird, erscheint zunächst ein Dialog zur Eingabe eines Benutzernamens und eines Passworts. Wenn die entsprechenden Daten eingegeben wurden, wechselt InfoGrid in den Bearbeitungs-Modus, welcher in Abschnitt 7.6.1 detailliert beschrieben wird. Über diesen Modus ist es möglich, 3D-Objekte oder AssetCollections in Bezug zu den Targets auszurichten und zu skalieren. Nachdem der Prozess abgeschlossen ist, kann die neue Ausrichtung in NEMO gespeichert werden, sodass sie für alle Nutzer:innen verfügbar wird. Der Menüpunkt „InfoGrid beenden“, beendet die App auf dem Mobilgerät vollständig.

7.3 AR-Overlay-Arten

In diesem Abschnitt werden die AR-Overlay-Arten vorgestellt, die im Rahmen des AR-Autorensystems umgesetzt wurden. Dabei werden alle AR-Overlay-Arten abgedeckt, welche in der Analyse bestehender AR-Lösungen (siehe Abschnitt 2.2.2) identifiziert wurden. Außerdem wurden darüber hinaus die AssetCollections als eine neue AR-Overlay-Art realisiert, welche in der Literatur zuvor noch nicht behandelt wurden. In Tabelle 2 wird eine Übersicht über die implementierten AR-Overlay-Arten darstellt.

Tabelle 2: Übersicht über die unterschiedlichen Arten an AR-Overlays, welche von InfoGrid bereitgestellt und bei der Erstellung von AR-Touren verwendet werden.

Overlay-Art	Beschreibung
Deaktiviert	Keine AR-Anreicherung
3D-Objekt	Automatische Darstellung eines 3D-Objektes, welches in Bezug zu dem erkannten Target dargestellt wird.
Bildüberlagerung	Automatische Darstellung eines Bildes, welches in Bezug zu dem erkannten Target dargestellt wird.
Manuell gestartete Audiowiedergabe	Wiedergabe einer Audiodatei in einem Audioplayer, der manuell aufgerufen werden kann und dann im Vollbildmodus dargestellt wird.
Videoüberlagerung	Darstellung eines in die Szene eingeblendeten Videos, welches automatisch in Bezug zu dem erkannten Target dargestellt wird.
Manuell gestartete Videoüberlagerung	Darstellung eines in die Szene eingeblendeten Videos in Bezug zu dem erkannten Target, welches manuell gestartet wird.
Vollbildvideo	Darstellung eines Videos im Vollbildmodus in einem Videoplayer, welches automatisch wiedergegeben wird, sobald das Target erkannt wurde.
Manuell gestartetes Vollbildvideo	Darstellung eines Vollbildvideos in einem Videoplayer, welches manuell gestartet wird.
AssetCollection	Automatische Darstellung einer AssetCollection, welche in Bezug zu dem erkannten Target dargestellt wird.

Bei allen Arten von AR-Anreicherungen wird zunächst das Target erkannt, welches in Zusammenhang mit der AR-Anreicherung steht. InfoGrid kann bis zu zehn Targets gleichzeitig erkennen und verarbeiten. Diese Limitierung ist eine Konfigurationseinstellung innerhalb der Unity-Entwicklungsumgebung, welche unter Verwendung des Vuforia-Frameworks auf Werte zwischen 1-100 eingestellt werden kann. Je höher der Wert eingestellt ist, desto mehr Ressourcen werden vom Prozessor des Mobilgerätes benötigt. Tests haben ergeben, dass eine Erkennung von bis zu 10 Targets gleichzeitig vom Ressourcenaufwand bei aktuellen Mobilgeräten kein Problem darstellt und diese Einstellung für alle in dieser Arbeit beschriebenen Settings ausreicht. Nach der Erkennung des Targets wird die im ALS-Portal eingestellte AR-Anreicherung in Bezug zu dem Target dargestellt.

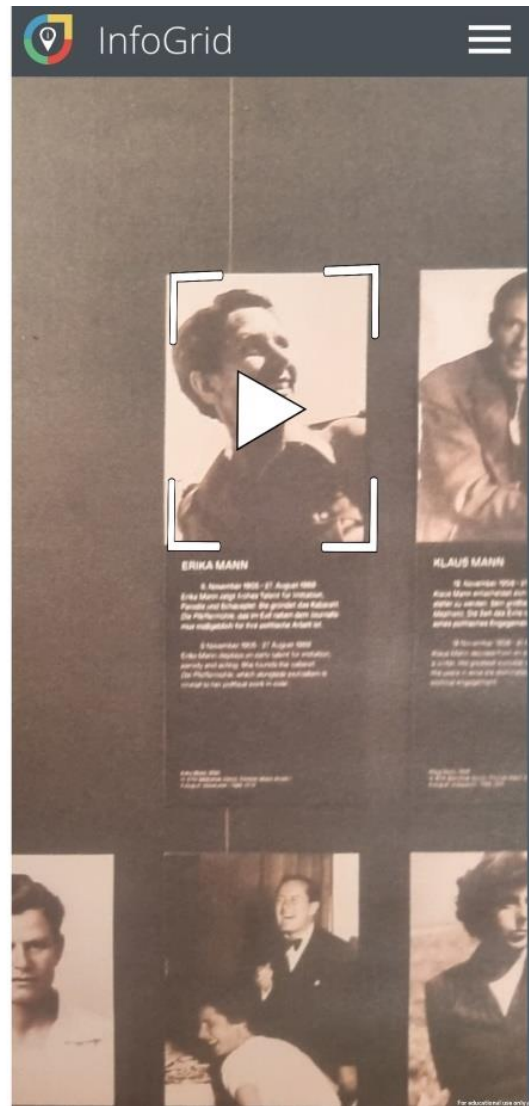


Abbildung 54: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Darstellung eines 3D-Objektes als AR-Overlay. (Rechts) Darstellung eines Touch-Bereiches als AR-Overlay, über den eine AR-Anreicherung durch eine Touch-Geste aufgerufen werden kann.

Eine Möglichkeit zur AR-Anreicherung stellen statische 3D-Objekte dar (siehe Abb. 54 links). Die 3D-Objekte werden dabei in einer registrierten Überlagerung in Bezug zu dem Target dargestellt. Falls das 3D-Objekt nach der Bereitstellung über das ALS-Portal von der Größe und Lage her nicht wie gewünscht im Raum dargestellt wird, gibt es in InfoGrid eine Schnittstelle zur Platzierung von AR-Inhalten, welche in Abschnitt 7.6.1 genauer vorgestellt wird. Als weitere AR-Anreicherungsart kann die Überlagerung mit einem 2D-Bild eingestellt werden. Das 2D-Bild wird dabei ebenfalls in einer registrierten Überlagerung in Bezug zu dem Target dargestellt. Zusätzlich kann ein Bild aber auch mittels VideoEdit (siehe Abschnitt 6.1) mit einer zusätzlichen Tonspur versehen werden, sodass zusätzlich zu dem Bild Audioinformationen bereit-

gestellt werden. Bilder und 3D-Objekte werden von InfoGrid automatisch dargestellt, sobald das Target im Bildbereich der Kamera vom Mobilgerät erfasst wird. Bei Video- oder Audio-wiedergaben kann es aber gewünscht sein, dass die Wiedergabe erst nach einer Bestätigung durch die Nutzer:innen gestartet wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn es physische Umgebungen gibt, in denen mehrere Targets gleichzeitig von dem Mobilgerät erfasst werden. Falls eine automatische Wiedergabe definiert wurde, werden alle Video- oder Audiodateien der erfassten Targets gleichzeitig wiedergegeben. Bei dem manuellen Start von AR-Anreicherungen werden alle Targets, die gleichzeitig erkannt werden, mit einer AR-Anreicherung versehen, die als Platzhalter für den eigentlichen Inhalt steht (siehe Abb. 54 rechts und Abb. 55).



Abbildung 55: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Touch-Bereiches als AR-Overlay, über den ein Video durch eine Touch-Geste aufgerufen werden kann.

Durch eine Touch-Geste auf einen der dargestellten Platzhalter startet dann die mit dem Target verknüpfte Wiedergabe der jeweiligen Audio- oder Videodatei. Das Video kann dann, wie in Abb. 56 dargestellt, als Video-Overlay dargestellt werden.



Abbildung 56: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Overlay-Videos in Bezug zu einem Target.

Alternativ kann das Video aber auch in einem Mediaplayer in einer Vollbild Darstellung wiedergegeben werden (siehe Abb. 57). Der Mediaplayer zeigt den Titel der Datei sowie den Fortschritt der Wiedergabe an. Nach einigen Sekunden werden die Titelzeile sowie die Menüzeile ausgeblendet. Sobald Nutzer:innen eine Touch-Geste auf dem Bildschirm des Mobilgerätes durchführt haben, werden die Titelzeile sowie die Menüzeile wieder eingeblendet.



Abbildung 57: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Videos in einem Vollbild Videoplayer.

Bei der Wiedergabe von Audiodateien im Mediaplayer wird statt der Videospur lediglich ein Lautsprecher Icon dargestellt (siehe Abb. 58). Die Oberfläche ist identisch zu der Oberfläche des Mediaplayers bei der Videowiedergabe.

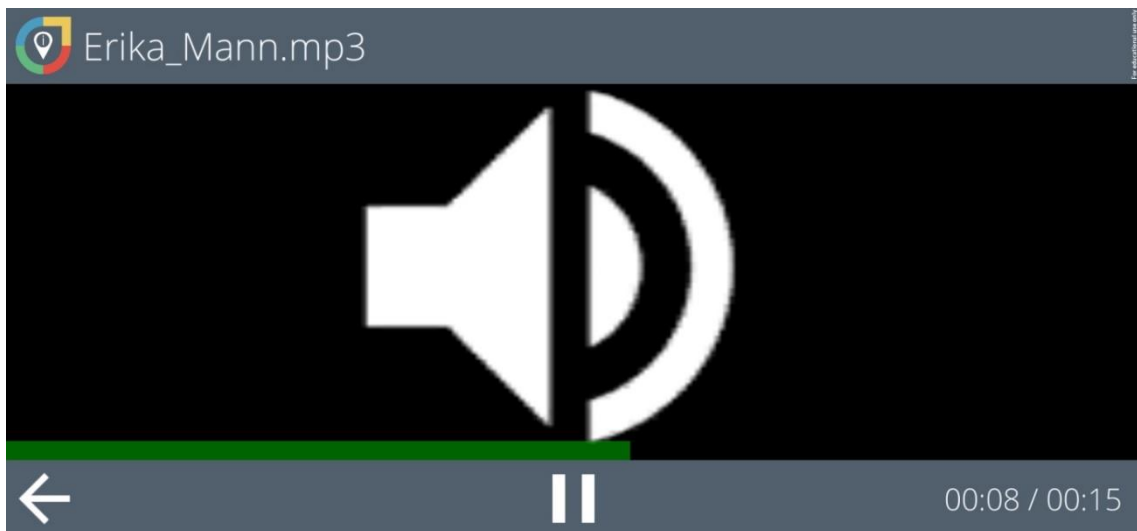


Abbildung 58: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Audio-Players im Vollbildmodus bei der Wiedergabe einer Audiospur.

Als weitere Overlay-Art können AssetCollections ausgewählt werden, welche aus einer Kombination von 2D/3D-Objekten, Animationen, Video- oder Audiospuren und interaktiven Verhalten bestehen können. Beispielsweise können AssetCollections dazu genutzt werden, 3D-Objekte mit einer Audiospur zu kombinieren (siehe Abb. 59), sodass sich Nutzer:innen während der Betrachtung genauere Informationen anhören können.



Abbildung 59: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung einer AssetCollection in Bezug zu einem Target.

AssetCollections können aber auch dazu genutzt werden, ganze Szenen wie beispielsweise ein interaktives Puzzle (siehe Abb. 60), darzustellen. Nach der Erkennung des Targets wechselt

InfoGrid in die Szene der AssetCollection. Diese kann von den Nutzer:innen jederzeit über den Zurück-Button verlassen werden.



Abbildung 60: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Bildschirmfotos einer AssetCollection, welche ein Walpuzzle enthält.

7.4 Mehrsprachigkeit

Nach dem Start von InfoGrid werden alle verfügbaren Übersetzungen der App-Texte von NEMO abgerufen. Um weitere Sprachen in der App zu ergänzen, können sie über das ALS-Portal angelegt werden (siehe Abschnitt 5.4). Nach Abruf der Daten stellt die App einen Dialog dar, über den die gewünschte Sprache ausgewählt wird. Im Dialogfeld werden alle vordefinierten Übersetzungen aufgelistet. Nach der Auswahl einer Sprache werden alle Textfelder der App aus einer zentralen Klasse heraus angesprochen und mit dem Text in der gewählten Sprache versehen. Die Übersetzung bezieht sich aber nur auf die Darstellungen der Elemente der Benutzungsschnittstelle. Falls eine Tour in einer weiteren Sprache verfügbar sein soll, ist es erforderlich, die Inhalte zusätzlich in die gewünschten Sprachen zu übersetzen.

7.5 Nutzungsdatenerfassung

InfoGrid erfasst während ihrer Verwendung anonyme Nutzungs- und Fehlerdaten und übermittelt diese über einen Web-Service an NEMO, wo sie in einer Datenbank gespeichert werden. Alle Daten, welche von InfoGrid an NEMO übermittelt werden, werden mit einer zufälligen Session-ID versehen, sodass zu keinem Zeitpunkt ein Bezug zu den Nutzer:innen herstellbar ist.

Außerdem wurde in Zusammenarbeit mit dem Datenschutzbeauftragten der Universität zu Lübeck eine Datenschutzhinweise-Seite ausgearbeitet, welche Nutzer:innen über das Vorgehen bei der anonymen Datenspeicherung von InfoGrid informiert. Diese Informationen können die Nutzer:innen auf der Webseite des ALS-Projektes nachlesen. Sie erreichen diese Informationsseite über den Menüpunkt „Datenschutz“ im Hauptmenü der App. Mittels der gespeicherten Daten können die erzeugten Touren evaluiert und auf Fehler hin geprüft werden. In Abschnitt 9 wird das System zur Auswertung der gespeicherten Nutzungsdaten vorgestellt.

7.6 Platzierung von 3D-Inhalten in AR-Umgebungen

Nach der Einrichtung einer neuen AR-Tour über das ALS-Portal, werden 3D-Objekte und AssetCollections zunächst in einer vordefinierten Standardposition und Standardskalierung in Bezug zu dem Target dargestellt. In vielen Fällen ist es aber notwendig, dass die AR-Anreicherungen von ihrer Lage her zu der physischen Umgebung passen. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass die Verschiebung, Rotation und Skalierung von 3D-Objekten und AssetCollections in räumlichen Bezug zu der Umgebung angepasst werden kann. Dabei ist eine sekundäre Forschungsfrage dieser Arbeit, wie die 3D-Inhalte bei der Erstellung von AR-Touren auf eine gebrauchstaugliche Weise platziert werden können. Um die Frage zu klären, wurden zunächst mögliche Lösungsansätze in der Literatur recherchiert. Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Literatur wurden zwei Bereiche genauer untersucht. Ein Bereich befasst sich mit der Platzierung von AR-Elementen bei der Verwendung von Smartphones. Ein weiterer Bereich befasst sich dabei mit der Platzierung von AR-Elementen bei der Verwendung einer Datenbrille. Auf Basis der Ergebnisse der Forschung wurde InfoGrid mit einem Autorenmodus ausgestattet, mit dem die Position und die Skalierung von 3D-Objekten und AssetCollections in Bezug zu der real-physischen Umgebung ausgerichtet werden können (siehe Abb. 61). Der Autorenmodus kann über das Hauptmenü von InfoGrid aufgerufen werden. Um den Autorenmodus zu nutzen, ist eine Benutzeranmeldung erforderlich, sodass ausschließlich berechtigte Personen Veränderungen an der Tour durchführen können. Die Schnittstelle wurde in einer ersten Fassung in der Qualifizierungsarbeit mit dem Titel „Manipulation virtueller Objekte auf Smartphones in AR-Umgebungen am Beispiel von Museumsausstellungen“ (Bundt, 2018), welche von dem Autor dieser Arbeit bei der Ausarbeitung betreut wurde, entwickelt. Außerdem wird die Schnittstelle zur Platzierung von Inhalten in der Publikation „Optimization of 3D Object Placement in Augmented Reality Settings in Museum Contexts“ (Ohlei, Bundt, et al., 2019) beschrieben.

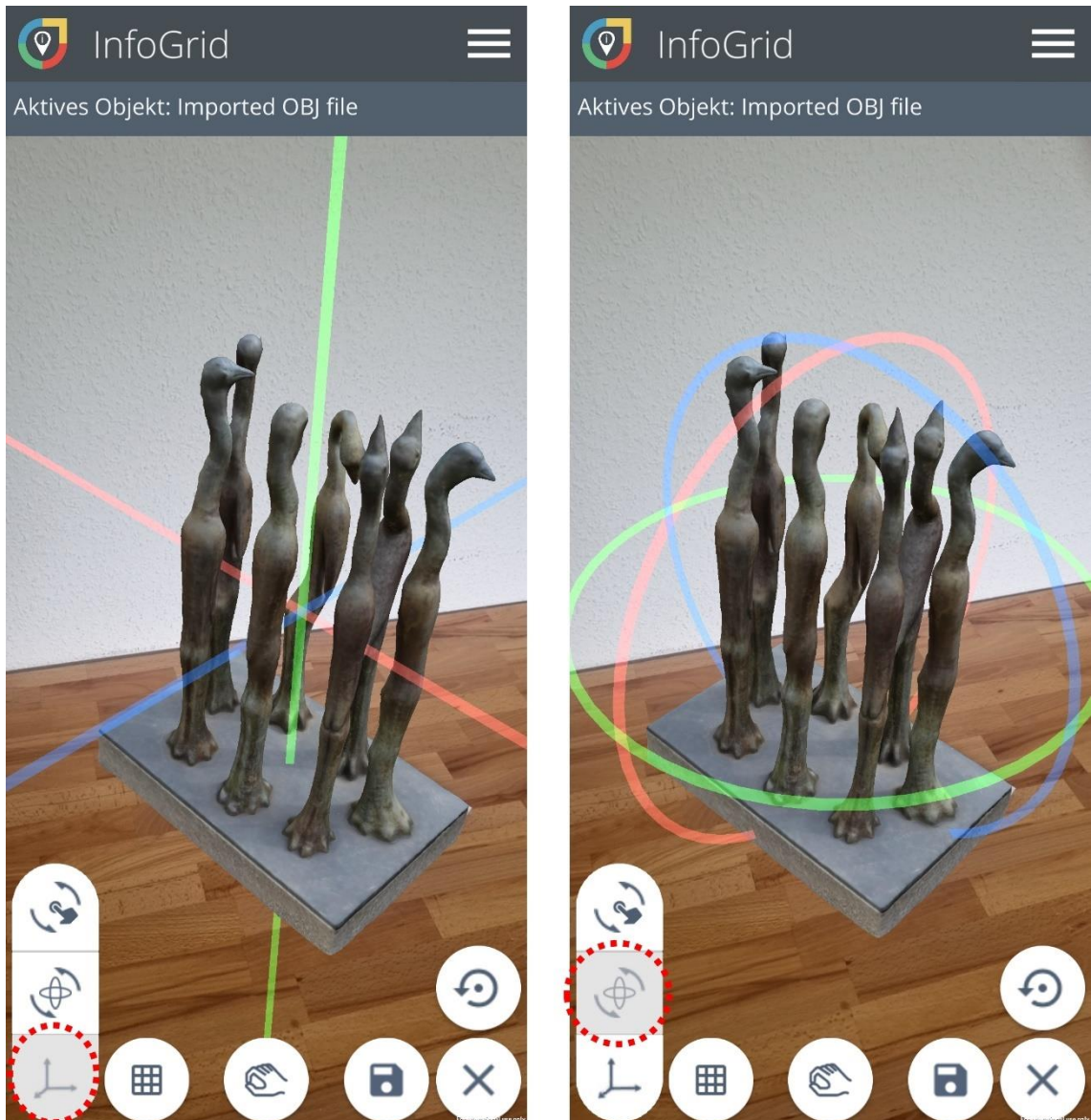


Abbildung 61: (Links) Smartphone Ansicht von InfoGrid mit aktiviertem Translations-Modus. (Rechts) Smartphone Ansicht von InfoGrid mit aktiviertem Rotations-Modus. Eine Skalierung des Objektes kann in jedem Modus über Pinch-Gesten erfolgen, bei denen zwei Finger gedrückt gehalten und anschließend zusammen oder auseinander gezogen werden.

7.6.1 Platzierung von 3D-Inhalten mit dem Smartphone

Das Platzieren von 3D-Objekten und AssetCollections in Bezug zu der physischen Umgebung ist ein zentraler Aspekt der Gestaltung von AR-Touren. Zur Entwicklung einer gebrauchstauglichen Schnittstelle für die Platzierung wurde zunächst in der Literatur nach bestehenden Lösungen recherchiert. Dabei wurden Methoden ermittelt, die für die Rotation, Translation und Skalierung von 3D-Objekten mittels Smartphones genutzt werden können. Bei einem Großteil der

herausgestellten Methoden werden entweder Touch-Gesten auf dem Display des Smartphones oder eine Bewegung des Smartphones zur Interaktion verwendet. Um festzustellen, welche Interaktionsformen die höchste Gebrauchstauglichkeit für die Translation, Rotation und Skalierung aufweisen, wurden geeignete Interaktionsmethoden aus der Literatur ausgewählt, implementiert und auf die Gebrauchstauglichkeit hin untersucht. Untersucht wurde die Rotation und Translation über individuelle Achsen, wie in „3D Touch“ beschrieben (Mossel et al., 2013). Außerdem wurde die Skalierung via Pinch-Gesten, wie sie von Mossel beschrieben werden, implementiert und untersucht, jedoch wurden alle 3 Achsen miteinander verknüpft, sodass die 3D-Objekte auf allen Achsen einheitlich skaliert werden. Darüber hinaus wurden die Arcball Rotation, wie sie von Heckbert (1994) beschrieben wurde und die Freihand-Transformation, wie sie von Marzo (Marzo et al., 2014) beschrieben wurde, ebenfalls implementiert und untersucht (Ohlei, Bundt, et al., 2019).

7.6.2 Formative Evaluation von Interaktionsmethoden

Bei der formativen Evaluation der verschiedenen Methoden der Platzierung hat sich herausgestellt, dass die Platzierung von 3D-Objekten über die Ansicht auf dem 2D-Bildschirm des Smartphones aufgrund der fehlenden Tiefeninformationen für die Probanden herausfordernd war. Um die Positionierung korrekt durchzuführen war es erforderlich, die physische Lage des Smartphones während der Platzierung mehrfach zu verändern, um das 3D-Objekt jeweils aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten zu können. Außerdem wurde festgestellt, dass eine Trennung von Translation, Rotation und Skalierung, wie sie von Mossel (Mossel et al., 2013) beschrieben wird, von den Probanden bevorzugt wurde. Es wurde beobachtet, dass die Probanden weniger unerwünschte Veränderungen durchgeführt haben, da die Translation, Rotation und Skalierung nur getrennt voneinander ausgeführt werden konnten. Daher wurde die Manipulation mit getrennter Translation, Rotation und Skalierung für die finale Komponente in InfoGrid gewählt. Bei der formativen Evaluation wurde ebenfalls festgestellt, dass die Nutzer:innen die Skalierung mittels Pinch-Gesten gegenüber der Verwendung eines Sliders zur Skalierung bevorzugen. Daher wird die Skalierung über Pinch-Gesten für die finale Komponente in InfoGrid gewählt. Abschließend wurde festgestellt, dass Nutzer:innen es bevorzugen, wenn sie zwischen einem Modus zur schnellen Positionierung sowie einem Modus zur langsamen, aber präziseren Positionierung wechseln können. Daher wurde für die finale Komponente in InfoGrid eine Freihand-Translation und eine Arcball-Rotation für die schnelle Interaktion sowie die Translation und Rotation über einzelne Achsen für die präzise Interaktion ausgewählt (Ohlei, Bundt, et al., 2019).

7.6.3 Frontend-Design der Positionierungs-Schnittstelle

Um in die Positionierungs-Schnittstelle zur Manipulation von 3D-Objekten und AssetCollections zu gelangen, ist es erforderlich, sich in InfoGrid anzumelden. Dadurch wird sichergestellt, dass nur berechtigte Personen die Tour-Inhalte verändern können. Nach der Anmeldung kann InfoGrid dazu genutzt werden, ein verfügbares Target zu erfassen, um das verknüpfte 3D-Objekt oder die AssetCollection darzustellen. Wenn ein sichtbares 3D-Objekt oder eine AssetCollection per Touch angewählt wird, wird das Objekt ausgewählt und das Menü aktiviert (siehe Abb. 62).

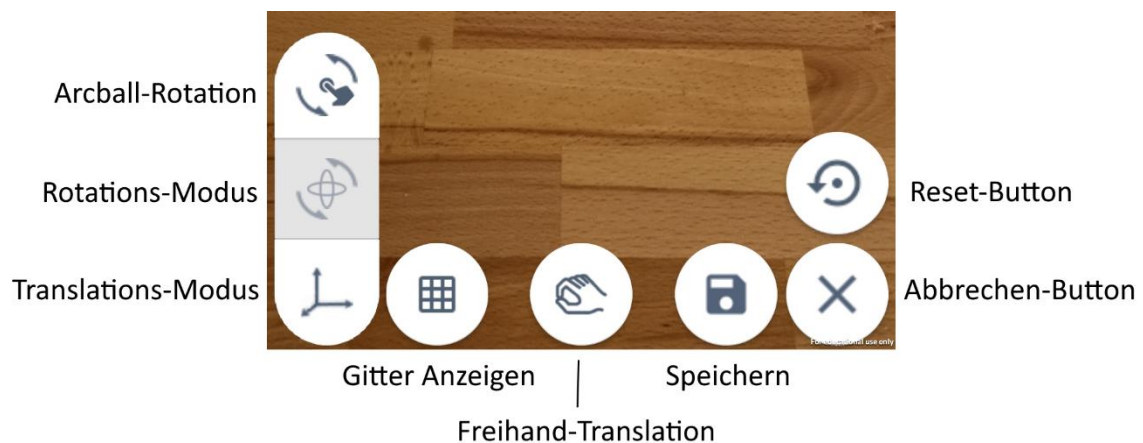


Abbildung 62: Funktionen des Objekt-Manipulations-Interface in InfoGrid.

Über das Menü kann das Objekt anschließend mit der Arcball-Rotation oder der Freihand-Transformation in einer schnellen Interaktion verändert werden. Über den Rotations-Modus (siehe Abb. 61 links) oder den Translations-Modus (siehe Abb. 61 rechts) kann das 3D-Objekt oder die AssetCollection langsamer aber achsenspezifisch genauer verändert werden. Zusätzlich können Pinch-Gesten zur Skalierung des dargestellten 3D-Objektes genutzt werden. Um das Objekt in seine Ausgangslage zurückzusetzen, kann der Reset-Button genutzt werden. Falls ein falsches Objekt ausgewählt wurde, kann über den Abbrechen-Button die Auswahl aufgehoben werden. Über den Speichern-Button kann eine neue Position und Skalierung in NEMO gespeichert werden (Ohlei, Bundt, et al., 2019).

7.6.4 Evaluation der InfoGrid Komponente zur Platzierung von 3D-Inhalten

Die InfoGrid Komponente zur Platzierung von 3D-Inhalten wurde in einer Studie quantitativ und qualitativ auf die Gebrauchstauglichkeit hin untersucht. In der Studie wurde der System Usability Scale (SUS)-Fragebogen nach Brooke (1996) verwendet. Dieser Fragebogen wurde ausgewählt, da er nur 10 Items umfasst und sich vom Umfang her gut mit weiteren Fragebögen, wie beispielsweise den Fragebogen zur Messung der allgemeinen Technikaffinität, demografischen Fragen und systemspezifischen Fragen kombinieren lässt. Trotz der geringen Anzahl an Items gibt der Fragebogen einen Aufschluss über die Empfundene Gebrauchstauglichkeit des Systems (Bangor et al., 2009; Peres et al., 2013). Bei der summativen Evaluation der InfoGrid Komponenten zur Platzierung von 3D-Inhalten wurde ein SUS-Score von 80.66 (SD=13.76; N=19; max. SUS- Score: 100) ermittelt. Nach Bangor (2009) entspricht dies einer Gebrauchstauglichkeit, welche als „good“ interpretiert wird. Die Probanden haben erwähnt, dass das Interface übersichtlich und einfach zu nutzen ist. Manche Probanden haben etwas Zeit benötigt, um den Button zur freihändigen Translation zu verstehen. Dies hing damit zusammen, dass sie davon ausgingen, dass es sich bei dem Button um einen Toggle-Button statt eines Buttons handelt, den man während der Interaktion gedrückt halten muss (Ohlei, Bundt, et al., 2019). Außerdem wurde eine Mitarbeiterin des Museums für Natur und Umwelt in Lübeck mittels eines Interviews nach der Verwendung der Positionierungs-Schnittstelle befragt. Das Feedback hat ergeben, dass sie zunächst nicht verstanden hat, dass sie das gewünschte Objekt auswählen muss, damit die Interaktions-Schaltflächen aktiviert werden. Außerdem hat sie erwähnt, dass die Translation und Skalierung sehr gut und präzise funktionieren. Außerdem geht sie davon aus, dass Nutzer:innen die Funktionalität schnell erlernen und dass es Sinn macht die Anwendung regelmäßig zu verwenden. Sie hat weiter angemerkt, dass die Manipulation der Objekte sehr schnell geht, sobald man die unterschiedlichen Funktionen von InfoGrid kennt. Abschließend erwähnte sie, dass es gut ist, dass die Objekte genau in der Lage angezeigt werden, wie sie die Besucher:innen zukünftig sehen werden. Durch die Evaluation der Komponente zur Platzierung von AR-Inhalten konnte gezeigt werden, dass Kurator:innen 3D-Inhalte im Bezug zur realen Umgebung mit einer hohen Gebrauchstauglichkeit verändern können. Dies ist für die Erzeugung von AR-Touren ein sehr wichtiger Punkt, da die AR-Elemente insbesondere im Museum passgenau in die Umgebung eingebettet werden müssen.

7.6.5 Evaluation der Platzierung von Inhalten mit einer Datenbrille

Im vorigen Abschnitt wurde eine Möglichkeit zur Platzierung von AR-Inhalten mittels eines Smartphones vorgestellt. In den letzten Jahren wurden neben den Smartphones und Tablets aber auch unterschiedliche AR-Brillen auf den Markt gebracht, mit denen virtuelle Inhalte betrachtet werden können. Die AR-Brillen unterscheiden sich darin, dass sie eine monokulare oder stereoskopische Ansicht, in dem möglichen Field of View, in ihrer Form und ihrem Gewicht sowie in den technischen Leistungsdaten ermöglichen. Da AR-Brillen am Kopf getragen werden und die Hände nicht zum Halten des Geräts benötigt werden, können Eingaben freihändig durchgeführt werden. Daher können andere Interaktionsformen als bei der Verwendung von Smartphones umgesetzt werden. Es ist jedoch unklar, welche Interaktionsformen bei der Verwendung von AR-Brillen für wenig erfahrene Nutzer:innen am besten geeignet und wie vergleichbar die Gebrauchstauglichkeit dieser Interaktionsformen gegenüber den Interaktionen mit einem Smartphone sind. Um die Unterschiede festzustellen, wurde vom Autor dieser Arbeit eine Studie der Gebrauchstauglichkeit durchgeführt, bei der drei unterschiedliche Interaktionsmethoden auf Google Glass (Glass) und zwei Interaktionsmethoden auf einem Smartphone miteinander verglichen wurden. Die Studie wird in der Publikation „Evaluation of Direct Manipulation Methods in Augmented Reality Environments using Google Glass“ beschrieben (Ohlei et al., 2018).

In der Forschung wurden Interaktionen in AR-Umgebungen bereits intensiv untersucht. Bei der Verwendung von AR-Brillen können unter anderem Daten externer Sensoren, Head-Tracking-Daten (Nilsson, 2007), Eye-Tracking-Daten (Kytö et al., 2018), Kamera basierte Hand- und Fingertracking-Daten (Hürst & Van Wezel, 2013), Interaktion mit greifbaren Objekten (Damala et al., 2016), Sprache (Piumsomboon et al., 2014) und Touch (Budhiraja et al., 2013) zu Interaktionszwecken genutzt werden. Bislang hat sich aber wenig Forschung mit dem Vergleich von unterschiedlichen Interaktionsmethoden für die AR-Objekt Manipulation befasst. Daher wurde in der Studie die Forschungsfrage untersucht, welche Interaktionsmethode in Verbindung mit Glass am besten für die Rotation und Skalierung von AR-Objekten geeignet ist. Dazu wurden fünf Interaktionsmethoden miteinander verglichen. Drei dieser Interaktionsmethoden wurden auf Glass umgesetzt und zwei auf einem Smartphone. Auf Glass wurden virtuelle Schaltflächen, Eingaben über das Swipe-Pad von Glass und Eingaben über das Touch-Display einer verbundenen Smartwatch implementiert (siehe Abb. 63). Auf dem Smartphone wurden virtuelle Schaltflächen und Eingaben über das Touch-Display des Smartphones implementiert. An der Studie nahmen 32 Probanden teil, welche die Aufgabe bekamen, eine 3D-Skulptur zu skalieren und zu

rotieren. Die verwendete 3D-Skulptur wurde aus Aufnahmen der realen Skulptur „Köpfe“ des Günter Grass-Hauses in Lübeck erzeugt. Im Rahmen der Studie wurde die Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit der Probanden ermittelt.

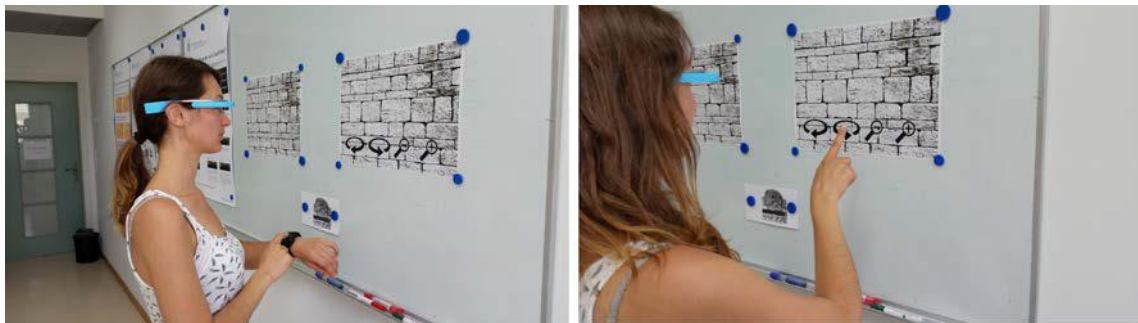


Abbildung 63: (Links) Probandin, die ein virtuelles Objekt mittels Eingaben auf einer Smartwatch (links) und auf virtuellen Schaltflächen (rechts) manipuliert (Ohlei, Wessel, et al., 2019).

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Interaktionsmethoden auf dem Smartphone gegenüber allen Interaktionsmethoden auf Glass eine höhere Gebrauchstauglichkeit aufwiesen (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht über die gemessene Gebrauchstauglichkeit (N=32) der unterschiedlichen Interaktionsmethoden. Die Werte reichten von 1-7, wobei ein höherer Wert einer besseren Gebrauchstauglichkeit entspricht. Die invers Codierte Fragen wurden vor der Auswertung invertiert.

Interaktionsmethode	Gebrauchstauglichkeit	Min-Max	Cronbach's Alpha
Touch Eingaben auf dem Smartphone	6.50 (0.47)	5.14 - 7.00	0.69
Virtuelle Schaltflächen auf Glass	4.99 (1.17)	2.57 - 7.00	0.88
Touch Eingaben auf Glass	5.34 (0.94)	2.50 - 7.00	0.77
Virtuelle Schaltflächen auf dem Smartphone	5.50 (1.08)	2.57 - 7.00	0.89
Smartwatch in Verbindung mit Glass	5.94 (0.62)	4.86 - 7.00	0.64

Daraus lässt sich ableiten, dass es für die Entwicklung von InfoGrid sinnvoll ist, eine Positionierungs-Schnittstelle über ein Smartphone zu nutzen. Bei der Betrachtung der drei Interaktionsmethoden, welche auf Glass implementiert wurden, wies die Interaktion mittels einer Smartwatch in Kombination mit Glass die höchste Gebrauchstauglichkeit auf. Als Ergebnis lässt sich daraus ableiten, dass die Verwendung einer Smartwatch in Verbindung mit Glass den Nutzer:innen eine höhere Gebrauchstauglichkeit bei der Interaktion mit virtuellen Objekten bietet als virtuelle Schaltflächen oder das Touch-Pad von Glass (Ohlei, Winkler, et al., 2018).

7.7 Kartensystem zur Besucherführung

Bei der Verwendung von InfoGrid in physischen Räumen können beliebige Oberflächen, welche eine erkennbare visuelle Struktur haben, als Target definiert werden. Durch das Natural-Feature-Tracking, welches InfoGrid durch die Einbindung des Vuforia-Frameworks nutzt, ist es nicht erforderlich, dass die Umgebung zusätzlich angepasst werden muss, um das Tracking zu ermöglichen. Beispielsweise ist es nicht erforderlich, QR-Codes an den zu erkennenden Bereichen anzubringen, da ein Foto des physischen Raums selbst bereits das Target darstellt. Bei der Verwendung dieser Technologie entsteht aber das Problem, dass Nutzer:innen von InfoGrid die Target-Bereiche im physischen Raum nicht unmittelbar erkennen können, da sie beim Betrachten keine besonderen Merkmale aufweisen. Ein Lösungsansatz für dieses Problem ist das Anbringen von kleinen Symbolen an der gewünschten Stelle im physischen Raum, anhand der die Nutzer:innen die Target-Bereiche erkennen können. Bei der Verwendung der Symbole kann aber das Problem auftreten, dass sie sich in manchen Settings aus ästhetischen oder technischen Gründen nicht passend anbringen lassen. Daher wurde die Idee entwickelt, innerhalb von InfoGrid eine Karte darzustellen, über die Nutzer:innen die Target-Bereiche finden können. Dieses Kartensystem wurde in einer ersten Fassung in der Qualifizierungsarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines Systems zur Erstellung von interaktiven Karten zur Unterstützung von AR-Anwendungen“ (Lindemann, 2021), welche von dem Autor dieser Arbeit bei der Ausarbeitung betreut wurde, entwickelt. Nach Abschluss der Arbeiten wurde das Kartensystem vom Autor dieser Arbeit um eine Funktion zur Gestaltung von Führungen erweitert, sodass die Targets in einer Reihenfolge gebracht werden können und sich auf diese Weise Führungen umsetzen lassen. Die Einrichtung von Karten bzw. Führungen in InfoGrid lässt sich über das ALS-Portal umsetzen und wird im Abschnitt 5.3.5 beschrieben. Bei der Verwendung einer InfoGrid-Tour, für die eine Karte oder eine Führung eingerichtet wurde, kann diese über einen Menübutton am unteren Rand der Anzeige aufgerufen werden (siehe Abb. 64).



Abbildung 64: Der Menübutton zum Aufrufen der Karte in InfoGrid.

Anschließend wird in InfoGrid ein vom Gestalter der Tour definierter Grundriss oder Geländekarte dargestellt. Auf diesem Grundriss oder der Geländekarte können die Nutzer:innen von InfoGrid anschließend die Lage der Target-Bereiche in Bezug zu ihrer Umgebung erkennen. In der Kartenansicht werden alle Target-Bereiche mit einem Symbol repräsentiert, welche die Art der AR-Anreicherung abbildet, die an dieser Stelle abgerufen werden kann (siehe Abb. 65 links). Durch eine Touch-Geste auf ein Target-Symbol wird eine Detailansicht aufgerufen, die den jeweiligen Standort des Targets illustriert und beschreibt (siehe Abb. 65 Mitte). Falls eine Führung eingerichtet wurde, werden die Target-Bereiche mit Hinweisen zur Reihenfolge dargestellt (siehe Abb. 65 rechts). Dabei erhalten die Nutzer:innen von InfoGrid Informationen über bereits besuchte Stationen, die unmittelbar nächste Station sowie alle weiteren Stationen, welche Bestandteil der Tour sind. Während der Nutzung der Führung werden die Symbole automatisch aktualisiert, sobald eine Station besucht und das entsprechende Target betrachtet wurde. Falls die als „nächste Station“ gekennzeichnete Station übergangen wird, verändert sie ihren Status nicht und die Station, die betrachtet wurde, wird als „Besuchte Station“ gekennzeichnet.

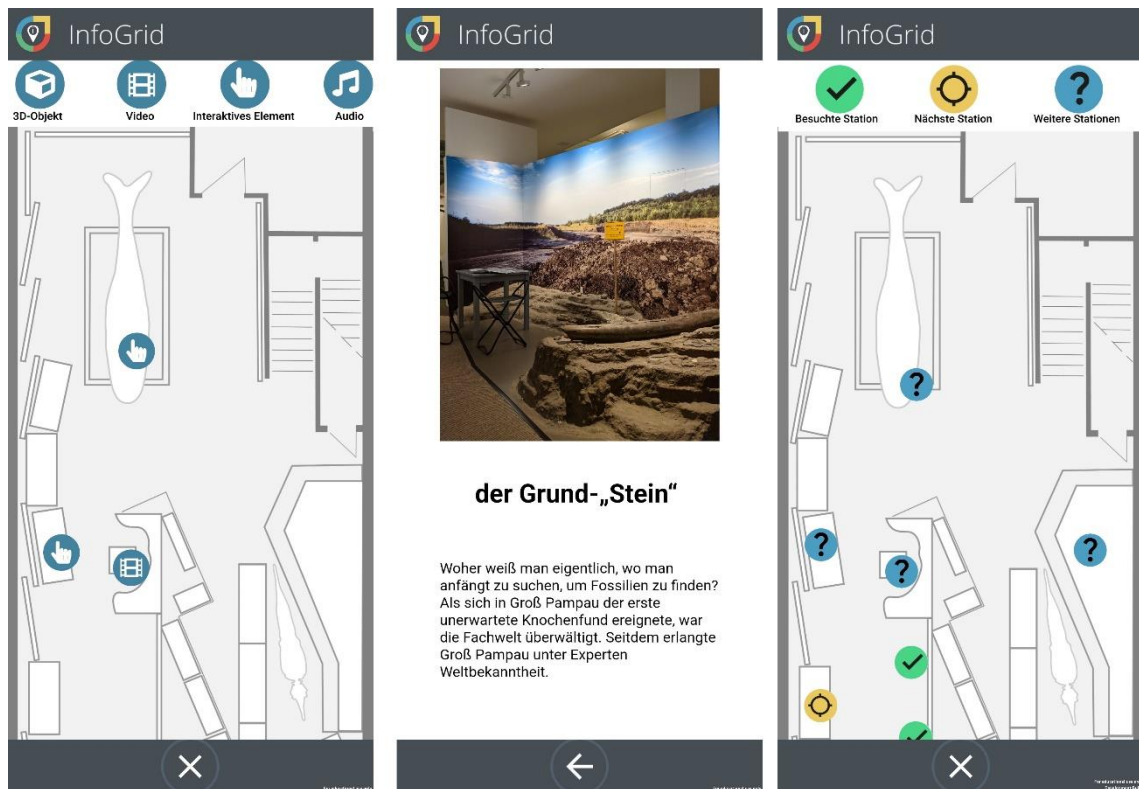


Abbildung 65: Bildschirmfotos des Kartensystems in InfoGrid. (Links) Darstellung der Targets auf einem Grundriss mit Symboldarstellungen der jeweiligen AR-Anreicherung dieser Station. (Mitte) Darstellung einer Detailsicht, welche durch eine Touch-Geste auf eines der Target-Symbole in der linken Abbildung aufgerufen wird. (Rechts) Darstellung der Targets in Form einer Führung. Nutzer:innen erhalten Informationen über bereits besuchte Stationen und über die nächste Station.

7.8 Implementierung von InfoGrid

InfoGrid wurde für das Google Android und Apple iOS-Betriebssystem mittels der Unity Entwicklungsplattform und Visual Studio 2017 sowie Visual Studio 2019 entwickelt. Der Code wurde mit der von Unity unterstützten Sprache C# entwickelt. Unity unterstützt die Cross-Plattform-Entwicklung von Anwendungen, sodass nur wenige Anpassungen für die jeweilige Zielplattform notwendig sind und die Codebasis identisch ist. Das ALS-Portal, die ALS-Werkzeuge sowie InfoGrid sind über Web-Services mit NEMO (siehe Abschnitt 4.5) verbunden. Als Übertragungsformat verwenden NEMO und InfoGrid dabei das JSON-Datenaustauschformat. 3D-Objekte und AssetCollections werden als ZIP-Dateien von NEMO bereitgestellt und von InfoGrid heruntergeladen und entpackt. Video- und Audiodateien werden als Stream übertragen und nicht auf dem Mobilgerät gespeichert. Bei den Videodateien wird das

MP4/H.264 Format und bei Audiodateien das MP3-Format verwendet. Folgende Web-Services werden von InfoGrid genutzt:

- Abruf der Sprachen
- Abruf der verfügbaren Institutionen
- Abrufen der verfügbaren Touren einer Institution
- Abrufen der Inhalte einer Tour
- Abrufen der Eigenschaften der Elemente der Tour
- Speichern der Eigenschaften der Elemente der Tour
- Speichern von Logdaten
- Abruf der InfoGrid Karte

7.9 Kommunikation mit NEMO

Alle Daten des AR-Autorensystems werden in NEMO gespeichert. Wie in Abschnitt 4.5 beschrieben, basiert NEMO auf einer modularen Struktur, welche mittels Web-Services mit dem ALS-Portal sowie InfoGrid kommuniziert. In diesem Abschnitt werden das Kommunikationsmodell und das Datenmodell des AR-Autorensystems mit NEMO dargestellt.

7.9.1 Kommunikationsmodell

NEMO kommuniziert mit InfoGrid sowie dem ALS-Portal über Web-Services. Folgende Web-Services werden für das AR-Autorenwerkzeug benötigt:

- InstitutionService
- InfoGridService, InfoGridls.asmx
- InfoGridObjectHandlerService
- InfoGridLanguageService
- InfoGridLoggingHandler
- VisitorMapService

InstitutionService: Der InstitutionService dient dazu, Informationen über die Institutionen vom ALS-Portal aus anzulegen, abzurufen und zu bearbeiten.

InfoGridService: Der InfoGridService dient dazu, Informationen über die InfoGrid-Touren vom ALS-Portal aus anzulegen, abzurufen und zu bearbeiten. Der InfoGridls.asmx Web-Service

wurde speziell für den Zugriff über mobile Anwendungen erzeugt und stellt eine Schnittstelle zu dem InfoGridService für Android und iOS-Geräte zur Verfügung.

InfoGridObjectHandlerService: Der InfoGridObjectHandlerService dient dazu, Informationen zu den InfoGrid-Targets vom ALS-Portal aus anzulegen, abzurufen und zu bearbeiten.

InfoGridLanguageService: Der InfoGridLanguageService dient dazu, Übersetzungen vom ALS-Portal aus anzulegen, abzurufen und zu bearbeiten.

InfoGridLoggingHandler: Der InfoGridLoggingHandler dient dazu, die Logdaten InfoGrid entgegenzunehmen. Außerdem kann das ALS-Portal über den Web-Service die Logdaten abrufen.

VisitorMapService: Der VisitorMapService dient dazu, die Karten und Führungsinformationen über das ALS-Portal in NEMO abzulegen, abzurufen und zu bearbeiten.

Alle Web-Services enthalten Methoden, über die Daten in NEMO gespeichert und von NEMO abgerufen werden können. Von InfoGrid aus ist ein Abruf des Web-Service in folgender Reihenfolge vorgesehen:

GetInstitutions → GetTourdataByInstitution

Zunächst können von InfoGrid die Institutionen inkl. der hinterlegten Touren abgerufen werden, um diese den Nutzer:innen zur Auswahl zu stellen. Nach der Auswahl werden folgende Methoden für den weiteren Abruf bereitgestellt:

GetPoiByProjectId → GetPoiPropertiesByPoiId

Über die Methode *GetPoiByProjectId* werden unter Angabe der ID der Tour alle Targets und ihre Eigenschaften geladen. Die Abkürzung POI steht im Funktionsnamen als Abkürzung für *Point of Interest*, welches sich auf die Target-Bereiche bezieht. Alle Abfragen an NEMO werden ID basiert durchgeführt. Eine ID besteht dabei aus einem *Universally Unique Identifier* (UUID), welcher eindeutig in allen Datenbanken der gesamten NEMO-Instanz erzeugt wird. Das Übermittlungsformat zwischen NEMO und dem ALS-Portal ist XML basiert. Das Übermittlungsformat zwischen NEMO und der InfoGrid nutzt das JSON-Format (siehe Abb. 66 und 67).

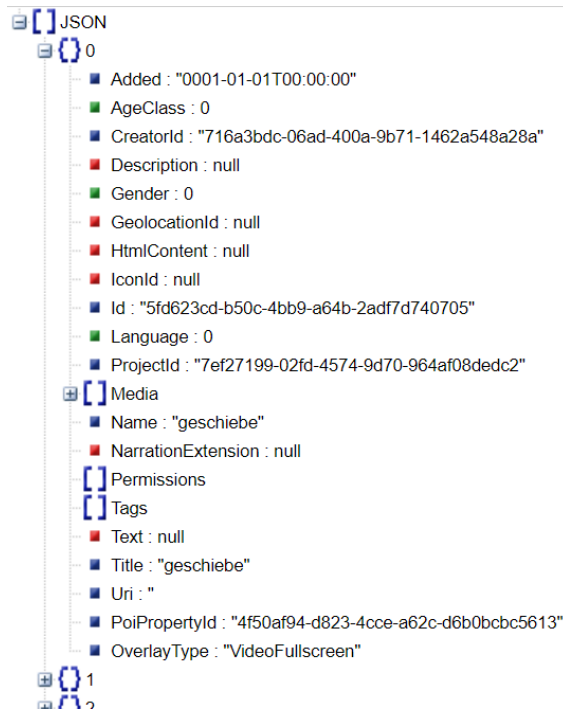


Abbildung 66: Element einer InfoGrid-Tour als visuell aufbereitete JSON-Darstellung. (Die visuelle Darstellung wurde mit dem Tool <http://jsonviewer.stack.hu> erzeugt).

Abb. 66 zeigt ein Element einer InfoGrid-Tour. Der *Title* des Targets beschreibt die Bezeichnung, über die das Target im ALS-Portal definiert wurde. Die ID der Tour ist mit der Institution verknüpft, welche die Tour bereitstellt. Darüber können alle Touren gefunden werden, welche einer Institution zugeordnet sind. Der *OverlayType* beschreibt die Art der AR-Anreicherung, welche InfoGrid bei diesem Target darstellen soll. In der *Media* Datenstruktur sind die Verlinkungen zu den Mediendateien, welche für das Target über das ALS-Portal in NEMO hinterlegt wurden. Video und Audiodateien werden vom NEMO-Server als Download bereitgestellt, sie können aber auch als Stream abgerufen werden. Mittels *PoiPropertyId* können über eine weitere Funktion im Web-Service die PoiProperties abgerufen werden, welche die räumlichen Eigenschaften des Targets umfassen. Jedes Target hat eine eigene *PoiPropertyId*.

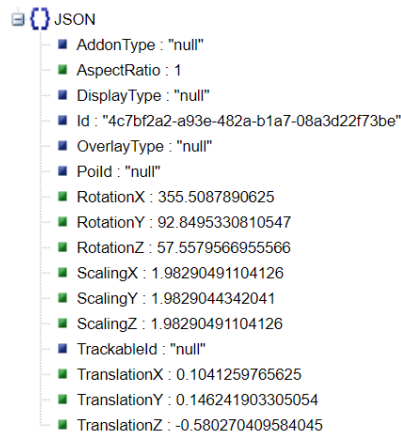


Abbildung 67: PoiProperties eines Targets innerhalb einer Tour als visuell aufbereitete JSON-Darstellung. (Die Visuelle Darstellung wurde mit dem Tool <http://jsonviewer.stack.hu> erzeugt).

Abb. 67 zeigt eine visuell aufbereitete JSON-Darstellung von den *PoiProperties* eines Targets. Über die ID sind die *PoiProperties* mit dem dazugehörigen Target verknüpft. Über den Aspect-Ratio wird das Seitenverhältnis von *VideoOverlays* beschrieben. Über die *Rotation*, *Scaling*, und *Translation* Werte wird die räumliche Transformation von den Anreicherungen in Bezug zu dem Target dargestellt.

7.9.2 Datenmodell

Um Daten für das AR-Autorensystem zu speichern, wird eine relationale Datenbank verwendet. Dabei werden die zu speichernden Daten in unterschiedlichen Datenbanktabellen abgelegt. Um Verknüpfungen zwischen den Datenbanktabellen herzustellen, wird jeder Datenbanktabelle jeweils eine ID zugewiesen. Um zwei Datenbanktabellen miteinander zu verknüpfen, wird jeweils eine Verknüpfungs-Datenbanktabelle verwendet, welche die IDs der beiden verknüpften Datenbanktabellen jeweils als Fremdschlüssel (Foreign Key) beinhaltet.

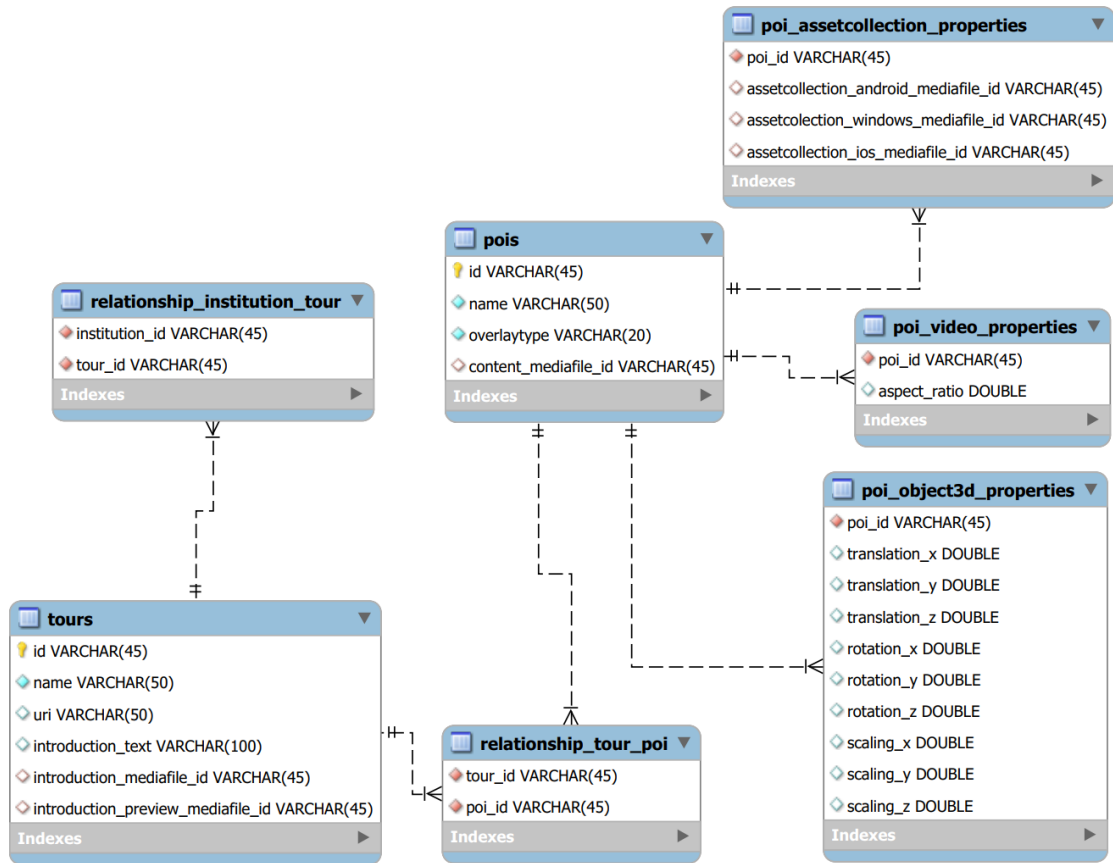


Abbildung 68: Datenbankmodell der InfoGrid-Tour Datenbank.

Abb. 68 stellt die Struktur der InfoGrid-Tour Datenbanktabellen dar. Dabei sind die Touren über die *relationship_institution_tour* Datenbanktabelle mit den Institutionen verknüpft. Jede Tour ist außerdem mit den POIs über die Datenbanktabelle *relationship_tour_poi* verknüpft. Jedes Tour Element (POI) ist je nach der Art von der ausgewählten Anreicherung mit den *poi_assetcollection_properties*, *poi_video_properties* oder den *poi_object3d_properties* verknüpft.

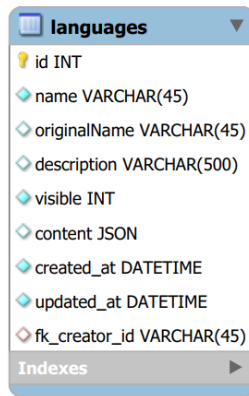


Abbildung 69: Datenbankmodell der InfoGrid Datenbank für die Übersetzungen des Frontends.

Abb. 69 stellt das Datenbankmodell der InfoGrid-Datenbank für die Übersetzungen des Frontends dar. Da die Übersetzung des Frontends unabhängig von den Tour-Inhalten ist, gibt es keine Verknüpfung zu weiteren Datenbanken.

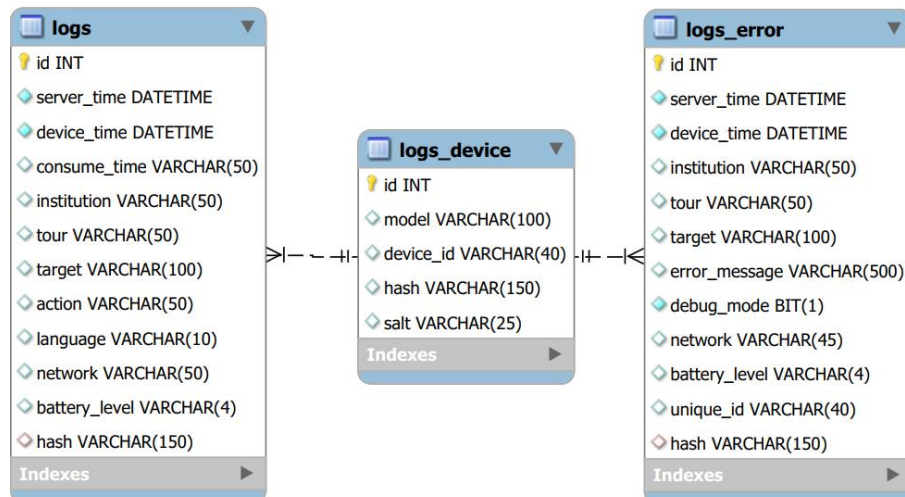


Abbildung 70: Datenbankmodell der Log-Datenbank.

Abb. 70 stellt das Datenbankmodell der Logdaten dar. Dabei wird jedes erkannte Gerät in der *logs_device* Datenbanktabelle abgespeichert. Zu jedem Gerät werden dann alle Interaktionen in der *logs* Datenbanktabelle gespeichert. Über die ID ist jeder Eintrag der *logs* Datenbanktabelle mit den gespeicherten Geräten in der *logs_device* Datenbanktabelle verknüpft. Alle Fehler, die während der Nutzung auftreten, werden in der Datenbanktabelle *logs_error* gespeichert. Jeder Eintrag in dieser Datenbanktabelle ist über die ID mit den Geräten in der *logs_device* Datenbanktabelle verknüpft.

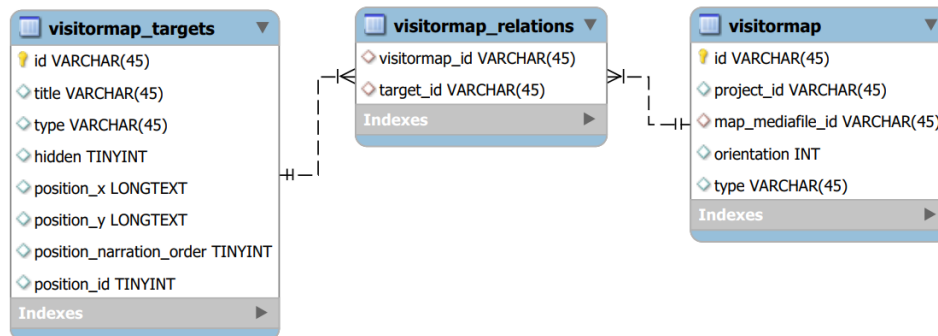


Abbildung 71: Datenbankmodell des Führungssystems.

Abb. 71 stellt das Datenbankmodell des Führungssystems dar. Zu jeder Tour gibt es genau eine Karte, auf der die Führung dargestellt wird, welche in der Datenbanktabelle *visitormap* abgelegt wird. Zu jedem Target bzw. POI der Tour gibt es jeweils einen Eintrag in der *visitormap_targets* Datenbanktabelle. Die Einträge sind über die Datenbanktabelle *visitormap_relations* mit der Datenbanktabelle *visitormap* verknüpft. Die Verknüpfung wird jeweils über die Ids der *visitormap_targets* und der *visitormap*, welche als Fremdschlüssel definiert ist, hergestellt.

7.10 Evaluation von InfoGrid

InfoGrid wurde im Rahmen der Museumsnacht 2017 im Museum für Natur und Umwelt von dem Autor dieser Arbeit auf die Gebrauchstauglichkeit hin untersucht. Dafür wurde vom Autor dieser Arbeit ein Fragebogen entworfen, der die Fragen zur System Usability Scale sowie Demografische Fragen enthalten hat. Der Fragebogen wurde von den weiteren wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen des ALS-Projektes geprüft und anschließend von dem Projektleiter für die Evaluation freigegeben. Die Evaluation fand am 26. August 2017 von 18:00 Uhr bis 24:00 Uhr vor Ort im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck statt.

Vor Ort waren der Autor dieser Arbeit sowie ein studentischer Mitarbeiter des ALS-Projektes. Sie haben den Besucher:innen die Verwendung von InfoGrid erläutert und die Fragebögen im Anschluss an die Nutzung von InfoGrid ausgegeben. InfoGrid wurde den Besucher:innen vorab im Programm zur Museumsnacht angekündigt. Außerdem wurden einige Besucher:innen gefragt, ob Fotos von ihnen gemacht werden dürfen. Die Bestätigung haben die Besucher:innen durch eine Unterschrift auf einem vorgefertigten Formular gegeben. Dieses Formular hat sie über den Zweck der Fotos, die Ansprechpartner bezüglich des Projektes sowie über ihre Rechte zum Widerspruch der Fotofreigabe zu einem späteren Zeitpunkt informiert. Im Museum für Natur und Umwelt wurde den Besucher:innen ein kostenfreier WLAN-Zugang bereitgestellt. Dieser wurde vom Autor dieser Arbeit zuvor über einen LTE-Hotspot eingerichtet. Damit hatten die Besucher:innen die Möglichkeit die App herunterzuladen, ohne ein eigenes Datenvolumen zu verbrauchen.

In der Museumsnacht haben ca. 70 Besucher:innen die InfoGrid App entweder auf ihrem eigenen Smartphone oder auf einem bereitgestellten Leihgerät genutzt. Von diesen Personen haben sich 31 bereit erklärt, den Fragebogen auszufüllen und an der Studie teilzunehmen. Das Alter der

Teilnehmer:innen war durchschnittlich 34.67 Jahre (SD=17.39) Jahre. 22 der 31 Teilnehmer:innen kamen aus Lübeck. Der Rest kam aus anderen Teilen Deutschlands. Als Datenquellen der Evaluation wurden die Fragebögen, die InfoGrid App, anonyme Statistiken und Beobachtungen genutzt.

Als die Besucher:innen zu dem Ausstellungsbereich kamen, haben sie sich zunächst mit dem verfügbaren WLAN verbunden und InfoGrid heruntergeladen. Anschließend haben sie die App in dem Ausstellungsbereich eingesetzt, um die Targets zu scannen und die AR-Inhalte zu betrachten. Nach der Nutzung der App wurden sie gefragt, ob sie an der Studie teilnehmen möchten und den Fragebogen ausfüllen können.

Die Downloadstatistiken haben gezeigt, dass 23 Besucher:innen die Android-Version und 14 Teilnehmer:innen die iOS-Version der App heruntergeladen haben. Ca. 35 Besucher:innen haben das Demo-Gerät genutzt. Der ermittelte SUS-Score lag bei 86.04 (von 100; N=31) welche nach Bangor (2009) als exzellent interpretiert wird. Die Installation von InfoGrid hat bei allen bis auf zwei Teilnehmer:innen ohne Probleme geklappt.

Von den Downloadstatistiken kann abgeleitet werden, dass es sinnvoll ist, eine Android und eine iOS-Version der App anzubieten. Die Beobachtungen der Besucher:innen haben aber gezeigt, dass es aber weiterhin Personen geben kann, welche die App nicht installieren können.

Dies kann daran liegen, dass der Speicher des Smartphones voll ist, das Gerät nicht ausreichend Akkulaufzeit hat, dass das Smartphone nicht kompatibel ist oder dass die Besucher:innen ihr Smartphone gar nicht dabei haben.

Innerhalb der Ausstellung wurden 7 AR-Targets für die Besucher:innen angeboten. Darunter waren ein interaktiver animierter Wal und 6 Videos, in denen unterschiedliche Bereiche der Grabungsstelle in Groß Pampau vorgestellt wurden. Um den Besucher:innen zu verdeutlichen, dass sie die jeweiligen Bereiche einscannen können, wurde ein kleines Icon, welches einen Spaten darstellte, an dem Targetbereich angebracht. Die Beobachtungen hierbei haben gezeigt, dass manche Besucher:innen versucht haben, diesen Spaten anstelle der tatsächlichen Targetbereiche einzuscannen. Es wurde außerdem beobachtet, dass den Besuchern die Interaktion mit dem animierten Wal interessanter fanden, als die Betrachtung der Videos.

8 Modellierung und Realisierung von AR-Touren für InfoGrid

In diesem Abschnitt werden die Arbeitsschritte zur Realisierung einer AR-Tour mittels der ALS-Werkzeuge, des ALS-Portals und InfoGrid vorgestellt. Dabei wird die zweite Forschungsfrage auf Basis der Erfahrungen aus der Arbeit mit den Partnermuseen diskutiert. Die zweite Forschungsfrage lautet:

„Welche Funktionen des Autorensystems sind von Kurator:innen ohne technische Unterstützung nutzbar? Bei welchen Funktionen benötigen sie Unterstützung durch Medienfachleute oder auch Software-Entwickler?“

Es ist nicht erforderlich, die Arbeitsschritte in der genannten Reihenfolge umzusetzen. Jedoch ist es sinnvoll zunächst die Konzeption durchzuführen, anschließend die Medien zu bearbeiten und zuletzt die Tour im ALS-Portal anzulegen. Der Prozess der Erzeugung von AR-Touren für InfoGrid wird auch in der Publikationen „InfoGrid: An Approach for Curators to Digitally Enrich their Exhibitions“ (Ohlei, Bouck-Standen, et al., 2018) und „Creating Augmented Realities in the Context of Lessons in Secondary Schools“ (Winkler et al., 2019) vorgestellt.

8.1 Konzeption

Für die Realisierung einer AR-Tour in einer kulturellen Einrichtung ist im ersten Schritt die Ausarbeitung eines Konzeptes vorgesehen. Inhaltlich sind folgende Abschnitte relevant und sollten durch das Konzept beschrieben werden:

- Zielsetzung und mediales Grundkonzept
 - Beschreibung des Gesamtsettings
 - Vermittlungsziele, die mit der digitalen Erweiterung erreicht werden sollen
- Inhaltliche Konzepte für den Standort
 - Beschreibung der Stationen/Exponate in der Ausstellung, die erweitert werden sollen

- Beschreibung, welche Medien als virtuelle Erweiterung (AR) gezeigt werden sollen
- Prüfung, ob für alle Stationen geeignetes Material vorliegt
- Aufbau der technischen Infrastruktur
 - Aufbau der Serverstruktur
 - Konfiguration der ALS-Systeme
 - Verfügbarkeit eines WLANs für die Nutzer:innen vor Ort
 - Einrichtung eines Bildschirms, der ein Nutzungsvideo der App darstellt
- Notwendige Beschaffungen
 - Beschaffung von Hardware, Software, Medien und Objekte
- Projektteam und Aufgabenverteilung
- Arbeits- und Zeitplan
 - Datum für einen Probelauf und der geplanten Fertigstellung der AR-Tour
 - Die Arbeiten können in Phasen aufgeteilt werden, die beschreiben, was sofort umgesetzt werden soll und was später ergänzt wird. Die AR-Tour kann jederzeit um weitere Elemente erweitert werden. Die Änderungen werden dabei unmittelbar in InfoGrid verfügbar.
 - Angabe darüber, in welchem Zeitraum die Tour angeboten werden soll

Diese Konzeptstruktur deckt alle relevanten Bereiche ab, die für die Umsetzung einer AR-Tour erforderlich sind und wurde bereits erfolgreich für die Umsetzung von AR-Touren in dem Lübecker Museum für Natur und Umwelt sowie im Buddenbrookhaus Lübeck eingesetzt. Die Erstellung der inhaltlichen Teile des Konzeptes kann von Kurator:innen selbstständig übernommen werden. Hierbei ist es aber von Vorteil, den Museen eine Arbeitsvorlage für das Konzept mit einer Grundstruktur zur Verfügung zu stellen. Da sich die Arbeitsvorlagen zwischen Museen in ihrer Struktur nicht wesentlich unterscheiden, bildet dies eine gute Ausgangsinformation. Bei der Ausformulierung des Konzeptes für die technische Infrastruktur benötigen die Museen hingegen eine Beratung von technisch versierten Personen, die insbesondere mit dem Aufbau von Medienservern und Netzwerken vertraut sind.

8.2 Aufbau der technischen Infrastruktur

Beim Aufbau der technischen Infrastruktur ist zunächst die Entscheidung wichtig, welche ALS-Anwendungen zum Einsatz kommen sollen. Falls neben dem AR-Setting auch die Interactive-Wall (IW) genutzt werden soll, ist entweder ein Server vor Ort oder eine Internetverbindung zu

einem externen Server mit einer großen Bandbreite notwendig, da die Interactive Wall Medien in hoher Auflösung von bis zu 8k darstellt. Auf dem Server müssen alle notwendigen ALS-Komponenten installiert sein (NEMO, ALS-Portal, ALS-Werkzeuge, ALS-Frontend Anwendungen) (Herczeg, 2021; Herczeg, Ohlei & Schumacher, 2021).

Soll ausschließlich ein AR-Setting bereitgestellt werden soll, kann der Server mit NEMO auch an einem anderen Ort aufgestellt sein. Wenn der Server innerhalb der Institution aufgestellt ist, wird die Installation einer unterbrechungsfreien Stromversorgung und einem Backupsystem wichtig. Außerdem ist es erforderlich, dass der Server über das Internet erreichbar ist, sodass sich InfoGrid mit dem Server verbinden kann. Ist der Server mit einer dynamischen IP ausgestattet, ist außerdem die Beschaffung eines Dienstes notwendig, welcher dem Server eine statische IP bzw. einen statischen Hostname zuweist.

Damit Nutzer:innen die teils hochvolumigen Medien ohne den Verbrauch eines eigenen Datenpaketes nutzen können, ist die Einrichtung eines WLANs in der Einrichtung sinnvoll. Durch die Nutzung eines WLANs erhöht sich außerdem die Datenrate, mit der die Nutzer:innen die Tourdaten auf ihre Smartphones übertragen können, was zu einer flüssigeren Nutzung der Anwendung führt. Die Informationen zu der Nutzung des WLAN kann den Besucher:innen der Museen über eine Information auf einem Poster (siehe Abb. 72) bekannt gemacht werden.



Abbildung 72: Unterer Abschnitt des InfoGrid Posters mit Informationen zu dem verfügbaren WLAN und dem QR-Code von InfoGrid im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck.

Bei der Einrichtung der technischen Infrastruktur benötigen Museen Unterstützung von technischem Fachpersonal. Über vorliegende Anleitungen zur Einrichtung von ALS-Systemen lässt sich der Aufwand jedoch minimieren.

8.3 Materialsammlung

Der erste Schritt in der Produktion der AR-Tour ist die Zusammenstellung des Materials, welches für die Tour verwendet werden soll. Je nachdem welche Art von AR-Anreicherungen geplant wird, sind unterschiedliche Quellmaterialien erforderlich. Als Ausgangsmaterial können Fotos, Bilder, Illustrationen, 3D-Objekte, Video- und Audioaufnahmen genutzt werden. Falls diese Medien noch nicht vorhanden sind, können sie mit geeigneten Geräten produziert und über das ALS-Autorensystem mit den dort verfügbaren Werkzeugen bearbeitet werden. Bereits fertige Medien können direkt in dem MediaManager des ALS-Portals hochgeladen werden, wodurch sie in allen ALS-Anwendungen verwendet werden können (siehe Abb. 73).

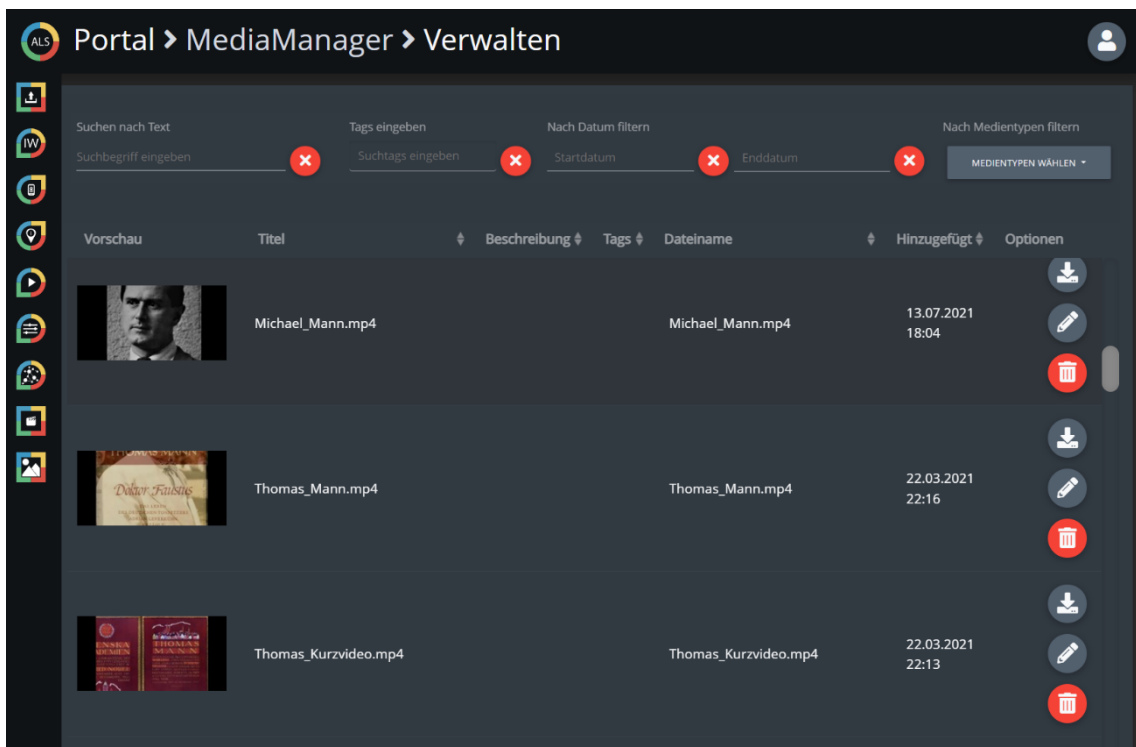


Abbildung 73: Bildschirmfoto des MediaManagers im ALS-Portal, indem alle verfügbaren Medien aufgelistet werden und die Möglichkeit zum Hochladen weiterer Medien besteht.

Die Sammlung des Materials aus den unterschiedlichen Archiven ist eine Aufgabe die primär von den Kurator:innen mit Unterstützung von weiterem Museumspersonal durchgeführt wird.

8.4 Bearbeitung von Videomaterial

Sollen innerhalb der AR-Tour Videosequenzen genutzt werden, kann eine Nachbearbeitung erforderlich sein. Dies kann direkt im Rahmen der ALS-Umgebung mit dem ALS-Werkzeug

VideoEdit (Ohlei et al., 2021) durchgeführt werden (siehe Abschnitt 6.1). Für AR-Touren bietet VideoEdit die Möglichkeit, dass Fotos und Illustrationen in ein Video übernommen werden können. Bei Bedarf kann das Foto bzw. die Illustration vor der Einbindung in das Video mittels ImageEdit bearbeitet werden. Wenn ein Bild in VideoEdit übernommen wurde, kann es mit einer Animation versehen werden und bei Bedarf mit weiteren Bildern oder Videosequenzen kombiniert werden. Im letzten Schritt kann die Sequenz aus Bildern und Videos mit einer neuen bzw. zusätzlichen Audiospur versehen werden. Auf diese Weise können animierte, vertonte Sequenzen aus Bildern erzeugt werden (siehe Abb. 74).

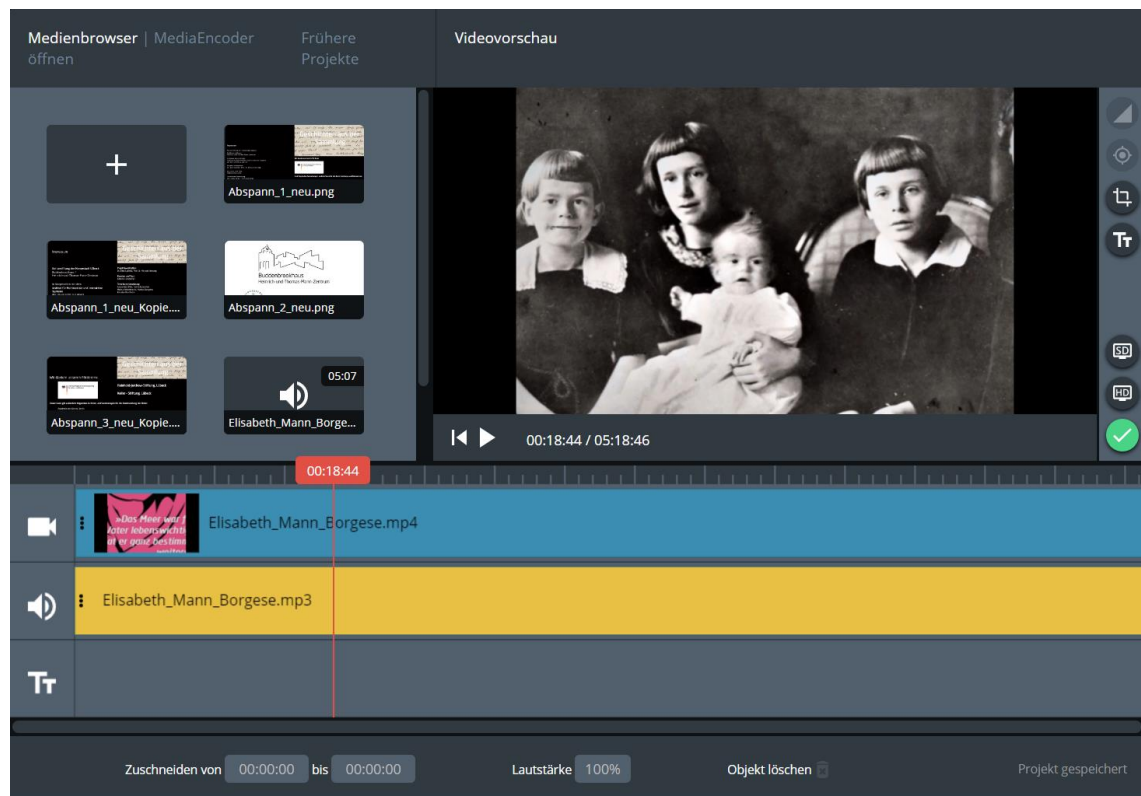


Abbildung 74: Bildschirmfoto von VideoEdit das die Produktion eines Videos der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses darstellt.

Wenn zusätzliche Bearbeitungsfunktionen für das Video benötigt werden, kann das Quellmaterial auch mit einer kommerziellen Videobearbeitungssoftware bearbeitet und anschließend in der AR-Tour verwendet werden. Bei der Arbeit mit den Partnermuseen hat sich gezeigt, dass VideoEdit von dem Museumspersonal ohne fremde Hilfe genutzt werden kann. Bei der Projektarbeit mit dem Buddenbrookhaus hat das Museum eine sprachlich ausgebildete Person beauftragt, die Texte in einer sehr guten Qualität aufzuzeichnen und sie dem Museum als Audiodatei zur Verfügung stellen. Diese Dateien konnten wiederum von dem Museumspersonal für die Erzeugung von den Videos verwendet werden.

8.5 Bearbeitung von Bildmaterial

Sollen innerhalb der AR-Tour Bilder als AR-Anreicherung verwendet werden, können diese zunächst mit dem ALS-Werkzeug ImageEdit (siehe Abschnitt 6.2) bearbeitet werden. ImageEdit stellt unter anderem Funktionen zum Beschneiden, Beschriften und zur Veränderung von Farbe und Helligkeit der Bilder bereit (siehe Abb.75).

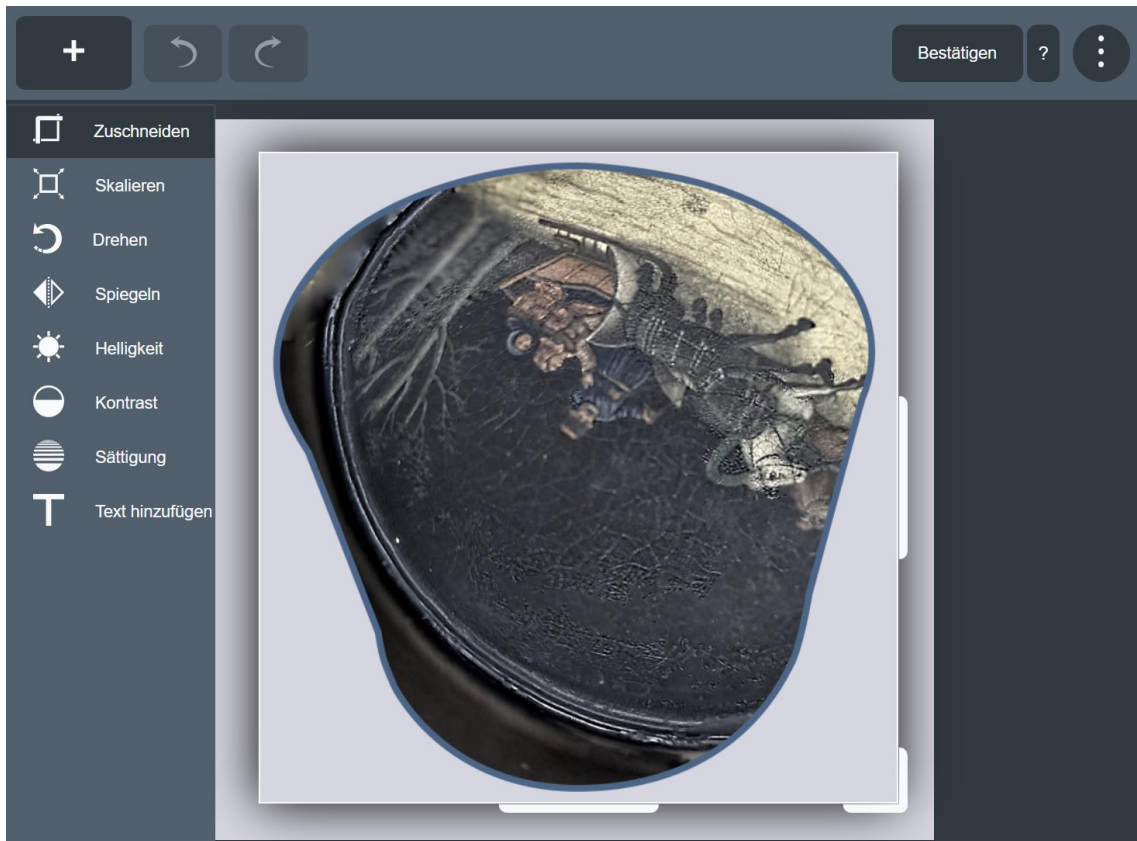


Abbildung 75: Bildschirmfoto von ImageEdit über das ein Target der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses zugeschnitten wird.

Werden zusätzliche Bearbeitungsfunktionen für das Bild benötigt, kann das Quellmaterial auch mit einer professionellen Bildbearbeitungssoftware bearbeitet und anschließend in der AR-Tour verwendet werden. Bei der Evaluation des Werkzeugs ImageEdit hat sich gezeigt, dass es eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufweist und auch vom Museumspersonal eingesetzt werden kann. Es wurde jedoch nicht für die Erzeugung der InfoGrid-Touren in den Partnermuseen verwendet, da die Entwicklung der Anwendung erst nach der Fertigstellung der AR-Touren abgeschlossen wurde.

8.6 Beschaffung oder Erzeugung von 3D-Objekten

Sollen innerhalb der AR-Tour 3D-Objekte genutzt werden, können sie entweder in einem fertigen Zustand erworben oder neu produziert werden. Um ein fertiges Objekt zum Kauf zu finden, können verschiedene Online-Marktplätze zum Erwerb von 3D-Objekten durchsucht werden. Beispielsweise gibt es den Sketchfab-Store oder den Unity Asset Store auf denen 3D-Objekte angeboten werden. Neben den genannten Beispielen gibt es noch sehr viele weitere Datenbanken, auf denen Objekte teilweise frei verfügbar und frei nutzbar sind oder auch gekauft werden können. Über eine Websuche nach „3D Model Database“ oder „Buy 3D Models“ können aktuell verfügbare Datenbanken gefunden werden. Kann das Objekt in den Datenbanken nicht gefunden werden, gibt es die Möglichkeit, es durch einen Grafiker mittels einer 3D-Modellierungssoftware erstellen zu lassen. Falls das Objekt in einem physischen Zustand vorliegt und virtuell nachgebildet werden soll, kann dazu NOC3D (Bouck-Standen et al., 2017; Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018; Bouck-Standen, Ohlei, Winkler, et al., 2018) eingesetzt werden (siehe Abschnitt 6.3). Um NOC3D einzusetzen, ist es erforderlich, dass zunächst mindestens 100 Fotos des physischen Objektes aus verschiedenen Winkeln erzeugt werden. Diese Fotos können anschließend in NOC3D importiert werden (siehe Abb.76).

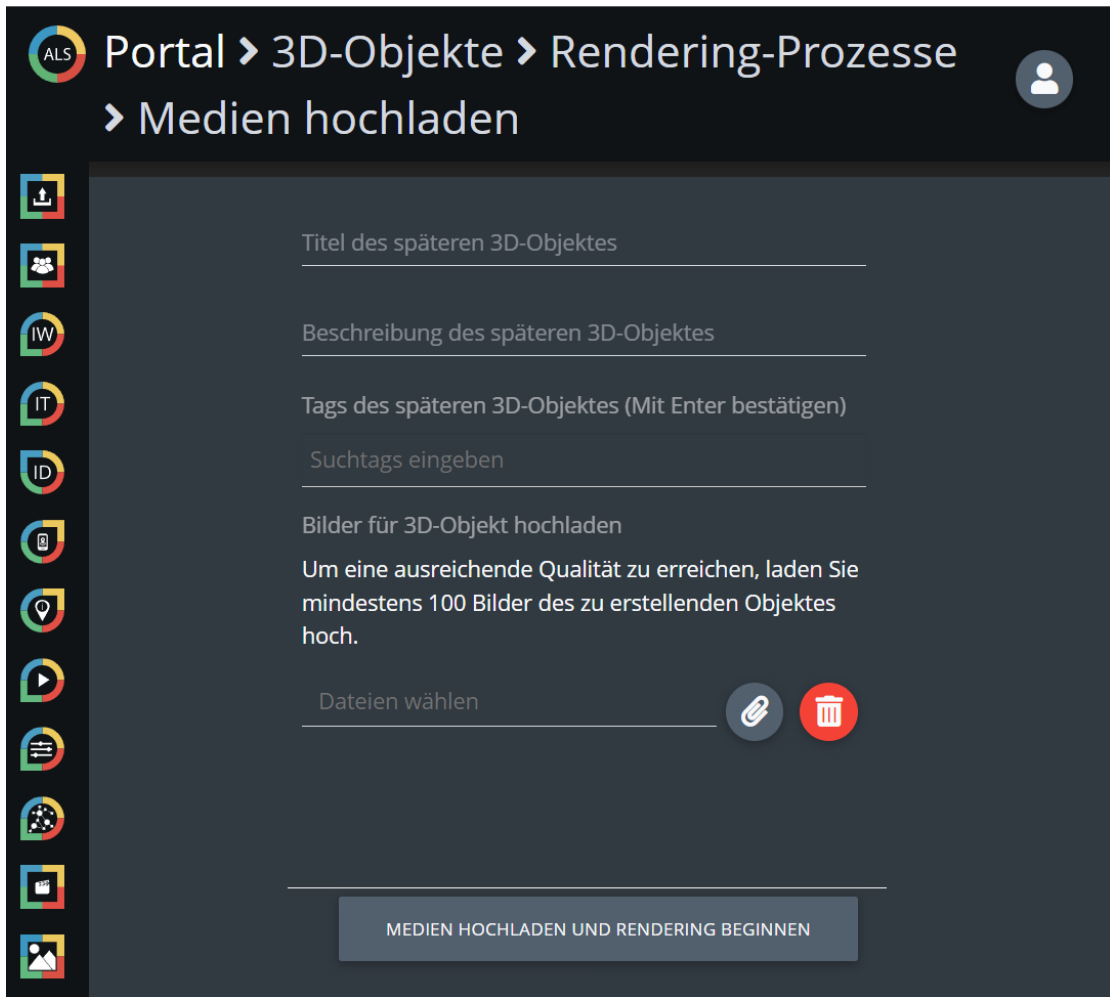


Abbildung 76: Bildschirmfoto von dem Import-Dialog für die Medien, welche von NOC3D in ein 3D-Objekt konvertiert werden sollen.

Aus diesen Bildern kann das System in einem Rekonstruktionsprozess das 3D-Objekt virtuell nachbilden. Sobald der Prozess abgeschlossen ist, kann das erzeugte 3D-Objekt mit dem ALS-Werkzeug 3DEdit (Bouck-Standen, Ohlei, Höffler, et al., 2018) bearbeitet werden (siehe Abschnitt 6.4). 3DEdit eignet sich dafür, die Lage des Objektes zu korrigieren und unerwünschte Fragmente des Videos zu entfernen (siehe Abb.77).



Abbildung 77: Bildschirmfoto von 3DEdit im ALS-Portal, welches dazu genutzt wird, das 3D-Objekt „Tabakdose“ der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses bearbeitet wird.

NOC3D basiert auf kostenlos verfügbaren Softwarekomponenten. Werden die Ergebnisse des Rekonstruktionsprozesses nicht in zufriedenstellender Qualität erzeugt, kann auch die kommerzielle Software Metashape von der Firma Agisoft für den Prozess verwendet werden. Bei der Erstellung und Verarbeitung von 3D-Objekten hat sich in der Arbeit mit den Partnermuseen gezeigt, dass sie dabei lieber auf professionelle Unterstützung zurückgreifen. Die Arbeiten sind sehr aufwändig und müssen gut abgestimmt durchgeführt werden und ein Fehler bei der Produktion sorgt dafür, dass aufwendige Prozesse wiederholt werden müssen. Daher ist die Erzeugung von 3D-Objekten aus Sicht von Museen zwar grundsätzlich möglich, jedoch aufgrund der benötigten Erfahrung im Allgemeinen derzeit und der benötigten Qualität der Produktionen nicht empfehlenswert. Museumsmitarbeiter könnten sich zwar in die Materie einarbeiten, falls die Arbeiten jedoch nur selten ausgeführt werden, ist dieser Aufwand ebenfalls nicht zielführend.

8.7 Dynamische Programmierung

Wenn 3D-Objekte mittels einer 3D-Modellierungssoftware gestaltet werden oder aus einem Rekonstruktionsprozess entstehen, liegen sie in einem nicht animierten Zustand vor. Außerdem

sind die 3D-Objekte, die aus Objektdatenbanken beschafft werden, in den häufigsten Fällen ebenfalls nicht animiert. Falls es gewünscht ist, die 3D-Objekte mit Animationen zu versehen oder sie in eine interaktive Szene in die AR-Tour einzubinden, kann dafür die dynamische Programmierung (Ohlei et al., 2020b) genutzt werden (siehe Abschnitt 6.5). Um ein 3D-Objekt zu animieren oder eine interaktive Szene einzurichten, ist es zunächst erforderlich, das Template Projekt in der Unity-Entwicklungsumgebung zu öffnen. Anschließend kann das gewünschte 3D-Objekt in Unity importiert werden und über den Unity-Animator mit Animationen versehen werden. Es können auch mehrere 3D-Objekte importiert werden und darüber ganze Szenen aufgebaut werden. Zusätzlich können ein oder mehrere Audiospuren ergänzt werden. Sobald die Bearbeitung der Szene abgeschlossen ist, kann sie über das Menü (siehe Abb. 78), das Bestandteil des Template-Projektes ist und im Rahmen der Entwicklungsarbeiten erstellt wurde, als ZIP-Dateien exportiert werden. Diese ZIP-Dateien können bei der Erstellung der AR-Tour im ALS-Portal hochgeladen und dem gewünschten Target zugeordnet werden.

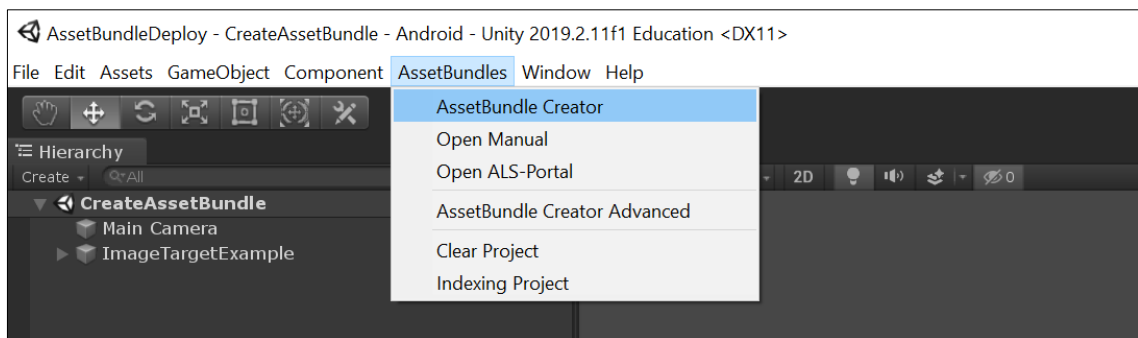


Abbildung 78: Das Unity Add-on zur Erzeugung von AssetCollections (in der Abbildung AssetBundle genannt) ist direkt in die Entwicklungsumgebung von Unity integriert und kann über eine Menüführung verwendet werden.

Die Gestaltung von AssetCollections erfordert Kenntnisse über die Verwendung von Unity und kann daher von Kurator:innen in den wenigsten Fällen selbstständig eingesetzt werden. Für die Entwicklung von animierten Objekten wird daher fachliche Unterstützung benötigt.

8.8 Tour Einrichtung

Nachdem die Bearbeitung der Medien abgeschlossen wurde, können sie zu einer Tour zusammengefasst werden (Ohlei, Bouck-Standen, et al., 2018). Zunächst ist es erforderlich, dass Fotos aller Bereiche der Ausstellung erstellt werden, die von InfoGrid wiedererkannt und mit den AR-Anreicherungen erweitert werden sollen. Um die Bereiche in den Fotos freizustellen, die von der App erkannt werden sollen, kann das ALS-Werkzeug ImageEdit (siehe Abschnitt 6.2) verwendet werden. Um die Fotos in eine Target-Datenbank zu überführen, ist es erforderlich, den Vuforia Target-Manager auf der Seite developer.vuforia.com zu verwenden und die Bilder auf dieser Seite hochzuladen. Nachdem alle Bilder hochgeladen wurden, kann die Target-Datenbank auf der Seite erstellt und als ZIP-Datei heruntergeladen werden. Anschließend kann eine neue Tour im ALS-Portal angelegt werden (siehe Abschnitt 5.3). Zunächst werden der Titel, eine Beschreibung und die Institution, in der die AR-Tour veröffentlicht werden soll, angegeben. Außerdem wird die zuvor Erstellte Target-Datenbank hochgeladen (siehe Abb. 79).

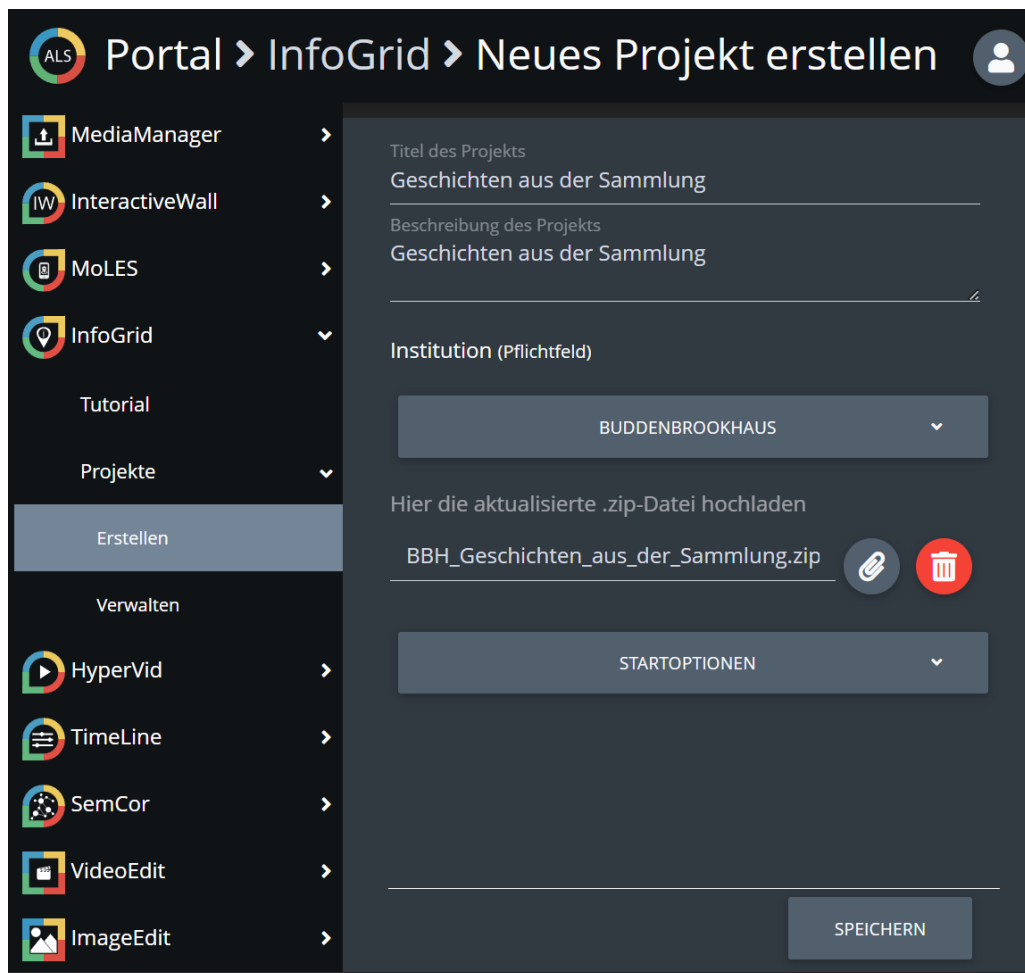


Abbildung 79: Bildschirmfoto des Dialogs zur Erzeugung einer InfoGrid AR-Tour im ALS-Portal.

Bei der Erzeugung der Tour wird jedem Target ein Overlay in Form eines Videos, Bildes, einer Audiodatei, eines 3D-Objektes oder einer AssetCollection zugewiesen (siehe Abb. 80).

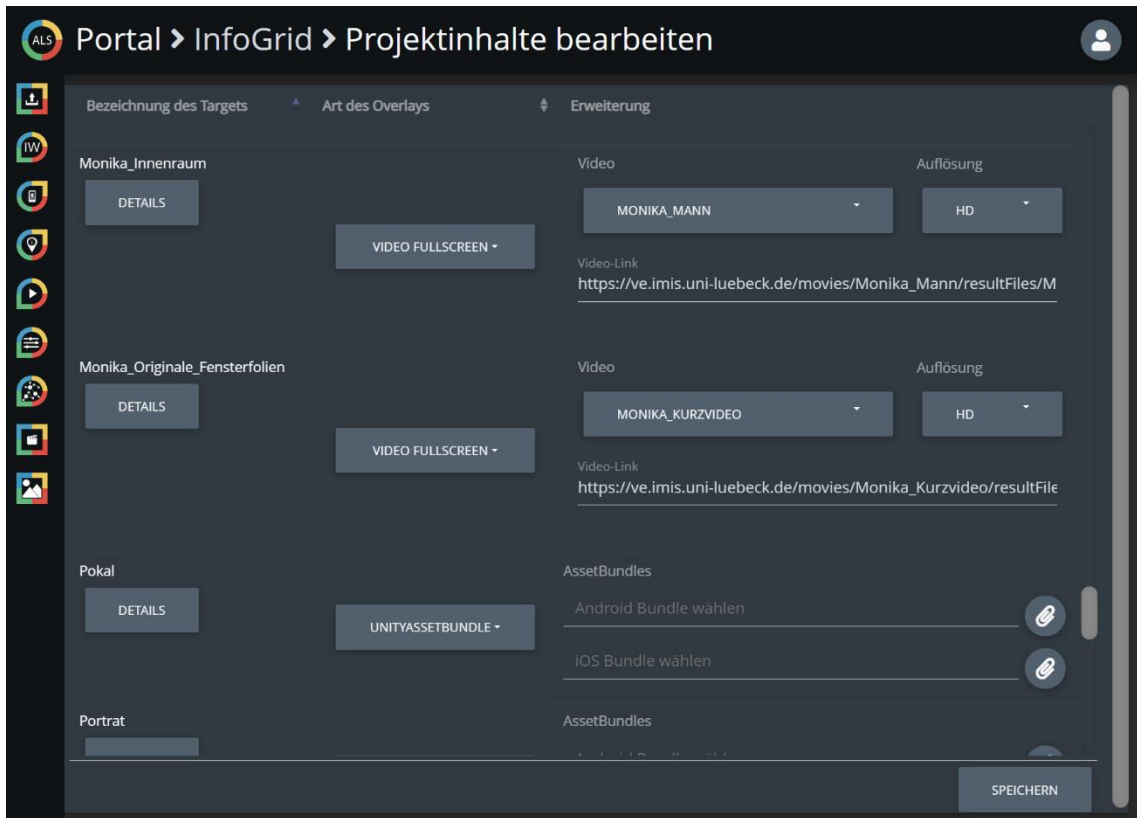


Abbildung 80: Bildschirmfoto von der Bearbeitung der Inhalte der AR-Tour im ALS-Portal.

Nachdem die Zuweisung abgeschlossen ist, können die 3D-Objekte sowie die AssetCollections über die Positionierungsschnittstelle (Ohlei, Bundt, et al., 2019) innerhalb von InfoGrid in Bezug zu der Umgebung platziert werden (siehe Abschnitt 7.6). Anschließend ist ein Test der fertigen Tour auf unterschiedlichen Geräten sinnvoll. Die Einrichtung einer AR-Tour kann von Museen selbstständig durchgeführt werden. Bei der Arbeit mit den Partnermuseen konnten Kurator:innen nach einer Einführung in die Funktionsweise des ALS-Portals eine eigene Tour selbstständig einrichten. Auch die Veränderung der bestehenden Touren durch Kurator:innen war problemlos möglich. Bei Evaluationen hat sich jedoch auch gezeigt, dass manche Kurator:innen mit einer Technikaffinität, welche geringer als der Durchschnitt von 3.5 ist, bei der Bearbeitung der Touren Unterstützung benötigen. Diese Unterstützung kann dabei auch von Kolleg:innen geboten werden.

8.9 Einrichtung einer Besucherführung

Über ein Kartensystem innerhalb von InfoGrid können Besucher:innen zusätzlich durch die Ausstellung geführt werden (siehe Abschnitt 5.3.5). Falls eine Führung für die AR-Tour eingerichtet werden soll, kann diese ebenfalls über das ALS-Portal eingerichtet werden. Die Einrichtung einer Führung ist optional und kann auch zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt werden. Um eine Führung einzurichten ist es zunächst erforderlich, einen Grundriss der Ausstellung im ALS-Portal hochzuladen. Auf diesem Grundriss können dann alle Targets der Ausstellung per Drag&Drop platziert werden (siehe Abb. 81).

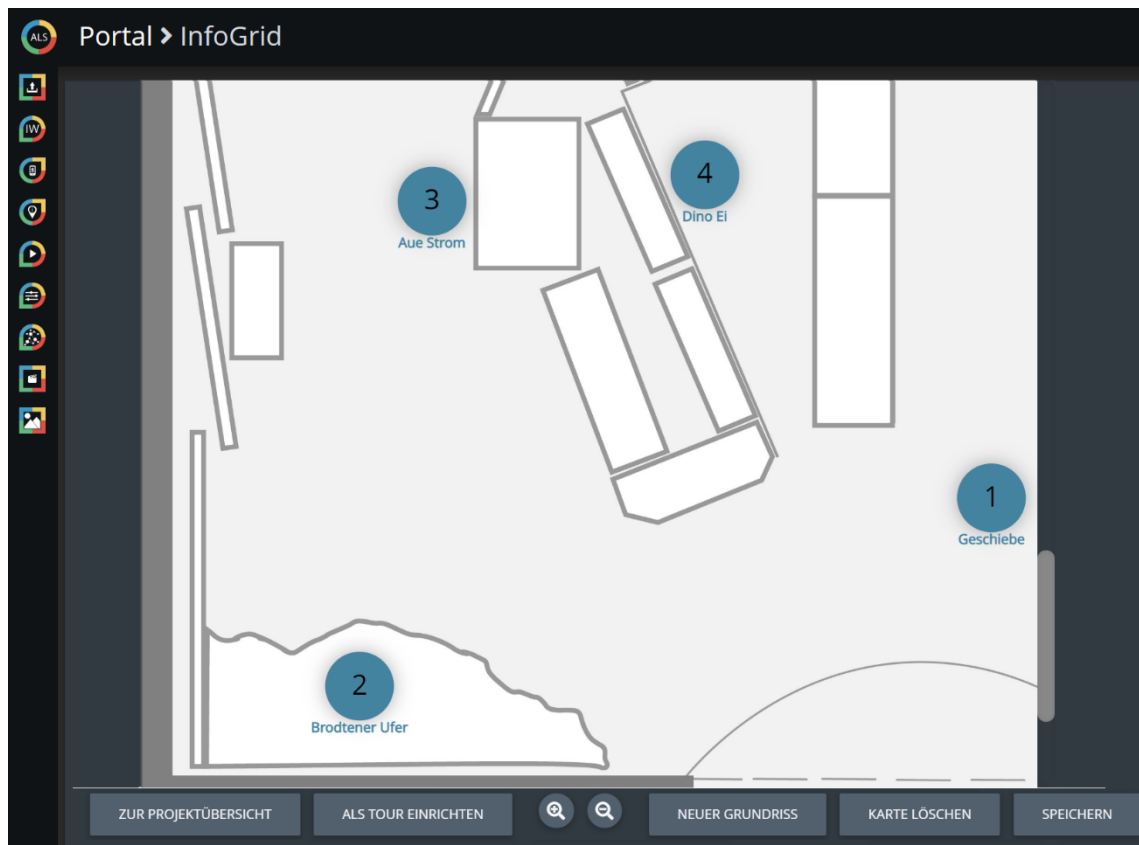


Abbildung 81: Screenshot des ALS-Portals bei der Einrichtung einer geführten AR-Tour im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck.

Anschließend kann durch eine Nummerierung der Targets eine Reihenfolge der Führung festgelegt werden. Damit ist das Anlegen der Führung abgeschlossen. Wenn Besucher:innen die AR-Tour aufrufen, wird die nächste Station der Führung farblich hervorgehoben und mit einem Zielkreuz-Symbol markiert. Bei der Evaluation des Systems zur Besucherführung, bei der auch Museumsmitarbeiter unter den Probanden waren, hat sich eine hohe Gebrauchstauglichkeit in der Verwendung des Systems gezeigt. Dies deutet darauf hin, dass Kurator:innen Besucherfüh-

rungen selbstständig erstellen können. Bei der Installation im Buddenbrookhaus (Heinrich-und-Thomas-Mann-Zentrum) am Rathausmarkt in Lübeck wurde das System jedoch nicht eingesetzt, da eine Führung nicht vorgesehen war. Bei der Verwendung des Systems durch das Museum für Natur und Umwelt Lübeck konnten die Museumsmitarbeiter:innen im FÖJ die Positionen nach einer kurzen Erläuterung des Systems selbstständig platzieren.

8.10 Veröffentlichung

Nach der Erstellung der Tour im ALS-Portal kann diese innerhalb der App abgerufen werden. Damit Besucher:innen einer Ausstellung Information darüber erhalten, dass eine AR-Tour verfügbar ist, können die Kurator:innen einen Hinweis über das Angebot auf der Webseite ihrer Institution platzieren. Innerhalb der Institution können Informations-Poster angebracht und Videobildschirme aufgestellt werden, die über die Nutzung der App informieren. Zusätzlich kann das Personal an der Kasse die Besucher:innen über die Verfügbarkeit der AR-Tour informieren. Ist freies WLAN verfügbar, können die Besucher:innen an der Kasse ebenfalls darüber informiert werden, um insbesondere auch die App aus einem der App-Stores zu laden. Damit die Besucher:innen die Target-Bereiche innerhalb der Ausstellung finden, können Markierungen in Form von kleinen Symbolen an den jeweiligen Stationen angebracht werden (siehe Abb. 82).

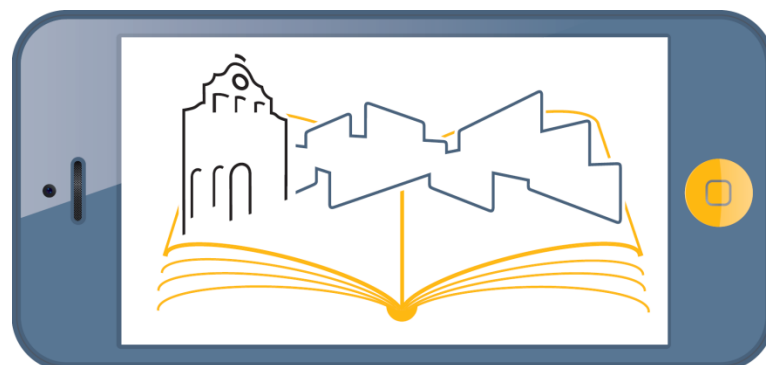


Abbildung 82: Icon, welches im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt in Lübeck verwendet wird, um Besucher:innen darauf aufmerksam zu machen, dass der jeweilig markierte Bereich mit InfoGrid eingescannt werden kann.

Die Partnermuseen wurden bei der Einrichtung eines Posters und eines Einleitungsvideos unterstützt. Jedoch kann dieses Material als Template für weitere Museen bereitgestellt werden, so dass diese Arbeiten von Museen selbstständig übernommen werden können.

8.11 Fazit

Alle ALS-Werkzeuge und InfoGrid-Module, die für die Erstellung einer AR-Tour verwendet werden, wurden während ihrer Entwicklung auf ihre Gebrauchstauglichkeit hin evaluiert. Die Ergebnisse der Evaluationen finden sich in dieser Arbeit jeweils in den einzelnen Abschnitten, in denen die Werkzeuge und InfoGrid-Module beschrieben werden. An den Evaluationen haben jeweils Mitarbeiter:innen der Partnermuseen teilgenommen. Im Rahmen der Evaluationen haben die Mitarbeiter:innen alle Aufgaben mit den entsprechenden ALS-Werkzeugen und InfoGrid Modulen erfolgreich gelöst. Um die Aufgaben zu lösen, standen den Probanden jeweils detaillierte Beschreibungen zur Verfügung. Die Arbeitsschritte, welche von den Mitarbeiter:innen nicht durchgeführt werden können, sind die technische Einrichtung des Systems und die Gestaltung von 3D-Objekten bzw. AssetCollections. Die technische Einrichtung ist ein einmaliger Prozess, indem das gesamte ALS-System in der Institution eingerichtet wird. Nach der Einrichtung können die inhaltlichen Arbeiten von den Mitarbeiter:innen weitergeführt werden. Bei der Erstellung von 3D-Objekten und AssetCollections können Museen auf Agenturen zurückgreifen. Die von den Agenturen gelieferten Modelle können von den Mitarbeiter:innen in die Tour eingefügt und passend in der Ausstellung platziert werden. Bei der Einrichtung der Touren hat sich gezeigt, dass es von Vorteil ist, wenn die Mitarbeiter:innen die Arbeitsschritte zunächst im Rahmen von Workshops üben, um sich bei der Nutzung der Anwendungen sicher zu fühlen. Auch die in ALS bereitgestellten Tutorials helfen bei der Verwendung der Systeme. Durch die Arbeit mit den ALS-Systemen in den Partnereinrichtungen hat sich ebenfalls gezeigt, dass sich die Kurator:innen während der Konzeption und Umsetzung der digitalen Inhalte intensiver mit dem Thema Digitalisierung befassen. Da sie eine Plattform nutzen können, mit der sie eigene Ideen realisieren können entsteht bei den Kurator:innen ein neuer Bezug zu der Thematik. Außerdem wird das Verständnis von den technischen Gegebenheiten und Möglichkeiten erweitert.

9 Auswertung von AR-Touren

Im Folgenden werden die Architektur und Implementierung eines Auswertungssystems für AR-Touren vorgestellt. Dies ermöglicht die Besucherinteraktionen mit den AR-Inhalten in Museumsausstellungen zu untersuchen. Das System zielt darauf ab, dass Kurator:innen einen Einblick in die Nutzung der Touren in ihrer Institution erhalten können, um so zu verstehen, wie die Besucher:innen diese Touren nutzen. Das Verstehen der Bedürfnisse und Interessen von Besucher:innen steht im Mittelpunkt der wirtschaftlichen und kulturellen Ziele von Museen (Camarero & Garrido, 2012). In der Forschung wird unter anderem vorgeschlagen Studien durchzuführen, um die Besuchererfahrungen zu verstehen (Everett & Barrett, 2009). Nutzerstudien sind aber zeitaufwendig und spiegeln nur die Informationen wider, die während der Studienzeit gesammelt wurden. Mit der Verwendung eines digitalen Tracking-Systems können Nutzerstudien kontinuierlich in einem voll automatisierten Prozess durchgeführt werden. Dies minimiert den Aufwand für Besucher:innen, da sie keine zusätzlichen Fragebögen ausfüllen müssen. Inzwischen ist es ein Standardvorgehen, bei der Nutzung digitaler Systeme, anonyme log Files anzulegen, um zu verstehen wie ein System oder eine Webseite genutzt werden. An Orten, in denen keine digitalen Systeme vorhanden sind, wie beispielsweise auch in Museen, stehen diese Möglichkeiten bislang nicht zur Verfügung. Sobald Museen damit beginnen, digitale Inhalte über digitale Anwendungen bereitzustellen wird es möglich, die anonym gesammelten Daten zu untersuchen. In diesem Abschnitt wird die Architektur und Implementierung eines Auswertungssystems vorgestellt, welches anonyme Nutzungsdaten, die von InfoGrid gesammelt werden, visualisiert. Das System zur Auswertung von AR-Touren wird in der Publikation „An Analytics System for the Evaluation of Interaction of Museum Visitors in Augmented Reality Tours“ (Ohlei et al., 2020a) detailliert beschrieben.

9.1 Datenmodell der Tracking-Daten

Mit InfoGrid werden unterschiedliche Kategorien an Logdaten gesammelt. Dazu zählen Geräteinformationen, Fehlerdaten und Nutzungsdaten. Innerhalb der Kategorien werden Informationen gesammelt:

- Geräteinformationen:
 - Zufällige Session-ID
 - Aktuelle Uhrzeit (auf dem Smartphone)
 - Gerätebezeichnung des Mobilgerätes
 - Netzwerkverbindung (WLAN/ Mobildaten)
 - Batteriestand
- Fehlerdaten
 - Aktuelle Uhrzeit (auf dem Server)
 - Institution (falls gewählt)
 - Tour (falls gewählt)
 - Target (falls eines getrackt wurde)
 - Fehlermeldung
 - Debug-Mode (Information darüber, dass die App im Entwicklungsmodus gestartet wurde)
- Nutzungsdaten
 - Aktuelle Uhrzeit (auf dem Server)
 - gewählte Sprache
 - Bezeichnung der gewählten Institution
 - Bezeichnung der gewählten Tour
 - Bezeichnung des eingescannten Targets
 - Dauer, wie lange das Target betrachtet wurde
 - Interaktionen (Tour gestartet, Video gestartet, Video pausiert...)

Die Geräteinformationen und Fehlerdaten werden benötigt, um mögliche Anwendungsfehler oder inkompatible Geräte zu identifizieren. Außerdem können über die Fehlerdaten fehlerhafte Einstellungen in einer AR-Tour entdeckt werden. Die Nutzungsdaten werden erfasst, um die Nutzung der AR-Tour durch die Besucher:innen nachvollziehen zu können. Alle Daten werden von der App gesammelt und im JSON-Format an einen NEMO-Web-Service für das Erfassen der Logdaten gesendet.

9.2 Komponenten innerhalb von InfoGrid

Für die Übertragung der Logdaten wurde in InfoGrid eine zentrale Klasse ergänzt, welche von allen Bereichen innerhalb der App aufgerufen werden kann, um Logdaten an NEMO zu übertragen. Alle Logmeldungen, die unterschiedliche Funktionen innerhalb von InfoGrid an die Klasse übertragen, werden in einer mit einem Singleton gesicherten Warteschlange abgelegt und sequenziell an den NEMO-Server übertragen. Auf diese Weise können beliebig viele Logdaten aus unterschiedlichen Bereichen der App gesammelt und versendet werden, ohne dass Konflikte bei der Übertragung entstehen. Damit sich die Nutzer:innen von InfoGrid über den Schutz ihrer Daten und das Tracking im Allgemeinen informieren können, wurde im Menü von InfoGrid ein Link zu der Datenschutz Seite des ALS-Projektes ergänzt.

9.3 Anonymisierungskonzept

Alle Daten, welche von InfoGrid gespeichert werden, sind anonym. Da Kurator:innen mit ihren Geräten ebenfalls in den Logdaten erfasst werden, wurde ein Anonymisierungskonzept entwickelt, mit dem dieser Personenkreis aus den Daten herausgefiltert wird. Das Filtern soll sich dabei auf bereits gespeicherte und zukünftige Logdaten beziehen. Damit dies möglich wird, wurde folgendes Konzept umgesetzt:

1. Im ersten Schritt wird für alle Nutzer:innen von InfoGrid bei erstmaligem Start der App eine ID mit einer zufälligen Länge generiert.
2. Diese ID wird gespeichert und bleibt so lange erhalten, bis der Cache über das Info Grid-Menü geleert wird oder die App deinstalliert wird.
3. Bei jedem neuen Aufruf der App wird ein zufälliger Wert (Salt) mit einer zufälligen Länge generiert.
4. Die ID und der Salt werden zusammengefügt und ein Hash wird aus beiden Werten berechnet.
5. Bei jedem Log-Datensatz wird der Hash und der Salt an NEMO übertragen und dort gespeichert.
6. Falls sich Kurator:innen in InfoGrid anmelden, wird die ID des Gerätes zusätzlich zu dem Hash und Salt an NEMO übertragen.
7. Der NEMO-Server berechnet in diesem Fall alle Hash-Werte aus der Kombination der übermittelten ID mit den zuvor gespeicherten Salt Einträgen aller verwendeten Geräte.

8. Überall dort, wo der berechnete Hash-Wert mit dem gespeicherten Hash-Wert übereinstimmt, handelt es sich um das Gerät der Kurator:innen. Um diese Einträge zu markieren, wird zu dem Datensatz die ID ergänzt, sodass die markierten Datensätze getrennt von den anonymen Datensätzen der Besucher:innen verarbeitet werden können. Um den Aufwand der Datenbank zu verringern, werden nur die Einträge mit unbekannter ID bei der Suche berücksichtigt.
9. Bei Logdaten, die zu einem späteren Zeitpunkt an den NEMO-Server übermittelt werden, wird ebenfalls geprüft, ob sich der Hash-Wert aus einer bekannten ID in Kombination mit dem aktuellen Salt bestimmen lässt. Daran lassen sich die Geräte der Kurator:innen auch zukünftig erkennen. Diese Datensätze werden dann ebenfalls durch die Ergänzung der ID markiert.

9.4 Visualisierung der Besucherinteraktionen

Um Kurator:innen die Möglichkeit zu geben die gespeicherten Logdaten auszuwerten, wurde ein web-basiertes Visualisierungssystem mit dem vue.js Framework entwickelt, welches in das ALS-Portal eingebunden wurde. Die technische Umsetzung für die web-basierte Oberfläche für das Auswertungssystem wurde in einer ersten Version in der Qualifizierungsarbeit von Bunge (2018) und einer überarbeiteten Version in der Arbeit von Piskorski (2019) entwickelt. Beide Arbeiten wurden vom Autor dieser Arbeit bei der Ausarbeitung ihrer Qualifizierungsarbeit betreut. Nach dem Abschluss der Arbeiten wurden weitere Optimierungen an dem Visualisierungssystem vom Autor dieser Arbeit durchgeführt.

9.4.1 Darstellungsarten

Das Auswertungssystem ermöglicht Kurator:innen die Logdaten, welche in ihrer Institution gesammelt wurden, einzusehen. Dabei kann eine individuelle Auswertung für jede InfoGrid-Tour innerhalb der Institution aufgerufen werden. Außerdem ermöglicht das Auswertungssystem eine aggregierte Auswertung aller Touren innerhalb einer Institution. Die Tour, welche analysiert werden soll, kann durch eine Auswahl aus dem Dropdown Menü (siehe Abb. 83 oben links) ausgewählt werden. Außerdem kann ein Zeitraum definiert werden, der in der Analyse dargestellt werden soll. Die Startseite des Visualisierungssystems zeigt zunächst ein Liniendiagramm, welches die Anzahl der Nutzer:innen, die die App verwendet haben, mit der Anzahl der durchgeführten Interaktionen darstellt (siehe Abb. 83). Die Graphen der Besucher- und Interak-

tionszahlen in dem Diagramm können individuell ausgeblendet werden, wobei sich die Achsen-Skalierung automatisch an die angezeigten Daten anpasst.

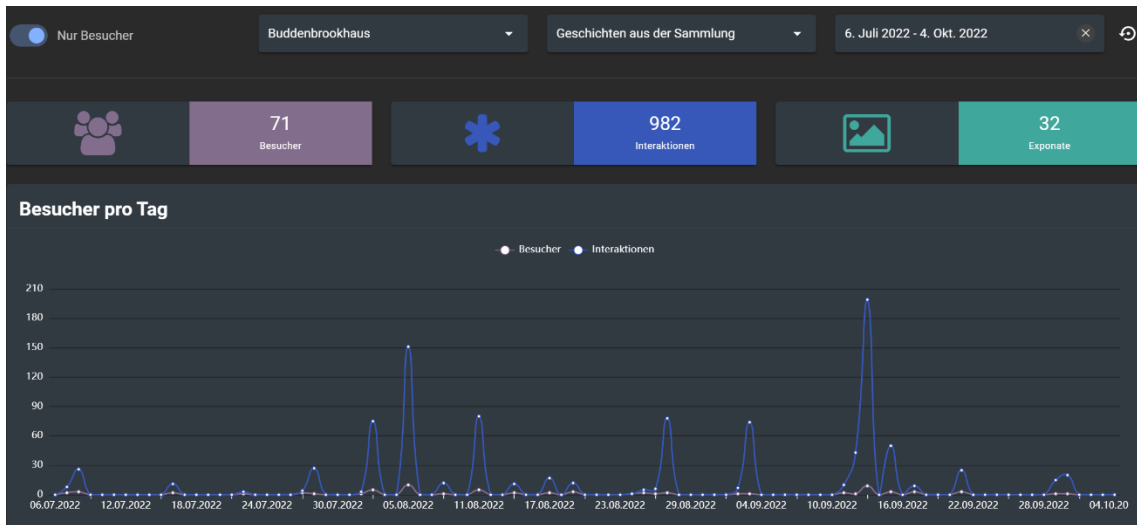


Abbildung 83: Darstellung des Visualisierungsinterface, welche die Anzahl der Besucher:innen und AR-Interaktionen von der Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses darstellt.

Das Visualisierungssystem bietet den Kurator:innen zusätzlich die Möglichkeit, eine Kartensicht aufzurufen, in welcher der Grundriss der Ausstellung zusammen mit den Besucherpfeifen angezeigt wird (siehe Abb. 84). Häufig gewählte Wege zwischen zwei Stationen werden farblich dunkler dargestellt. Wenn der Mauszeiger über eine der Stationen auf der Karte bewegt wird, zeigt das System, wie viele Interaktionen mit dem AR-Element an der jeweiligen Station durchgeführt wurden und wie lange diese Interaktionen insgesamt dauerten. Falls der Kurator die Ansicht auf einzelne Besucher:innen einstellt, zeigt das System nur diesen Weg durch die Ausstellung. Neben den Besucherpfeifen ist es ebenfalls möglich, eine Heatmap auf dem Grundriss einzublenden. Diese stellt die Gesamtzeit der Interaktion mit dem AR-Inhalt bei der jeweiligen Station farblich dar (siehe Abb. 84). Zusätzlich zu den Visualisierungen ist es möglich, eine Liste aller Log-Ereignisse bezüglich der ausgewählten AR-Tour und eine weitere Liste mit Fehlern, die während der Nutzung der AR-Tour aufgetreten sind, einzusehen und zu durchsuchen.

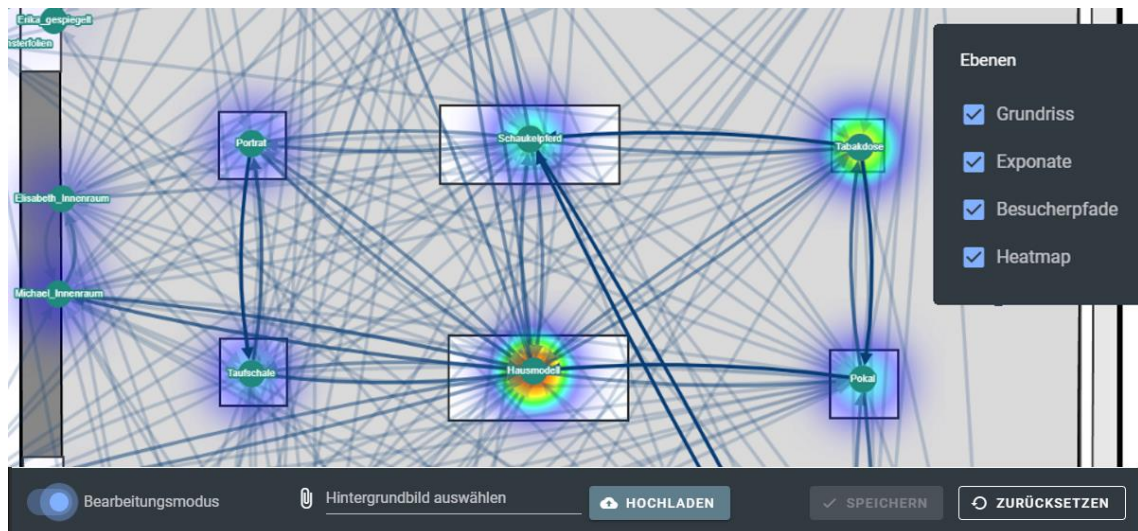


Abbildung 84: Darstellung der Besucherpfade der Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses in einer Kartenansicht mit aktivierter Heatmap.

9.4.2 Evaluation

Das implementierte System wurde im Rahmen einer Qualifizierungsarbeit (Piskorski, 2019), welche vom Autor dieser Arbeit betreut wurde, in einer summativen Evaluation mit dem SUS-Fragebogen (Brooke, 1996) untersucht. An der Studie nahmen 11 Personen teil (5 Frauen, 6 Männer). Das Durchschnittsalter war 28,72 Jahre (min. 20 Jahre, max. 49 Jahre, $SD=9,22$). Der durchschnittliche ATI-Score der Probanden beträgt 4,38 (Skalierung: 1 bis 6; $SD=0,71$). Die Probanden hatten einen höheren ATI-Score als der Durchschnitt der Bevölkerung, welche bei einem Wert von 3,5 liegt (Franke et al., 2019). Der ermittelte SUS-Score lag bei 89,50 (Skalierung: 1 bis 100, $N=11$) welche als exzellent interpretiert wird (Bangor et al., 2009).

Das System wurde außerdem qualitativ in zwei Interviews mit Museumsleiterinnen untersucht (Piskorski, 2019). Dabei wurden die beiden Museumsleiter gebeten, sich die unterschiedlichen Ansichten des Systems anzusehen und die Funktionen zu nutzen, um eine Reihe von vorgegebenen Aufgaben zu lösen. Anschließend wurden sie befragt, welche Vorteile sie bei der Nutzung des Systems sehen und wie oft sie das System gerne nutzen würden. Außerdem wurden sie gefragt, auf welche zusätzlichen Informationen und Funktionen sie gerne zusätzlich zugreifen würden. Das Feedback der Museumsleiter war, dass es eine zentrale Aufgabe für sie ist, die Besucher:innen zu führen und zu leiten, was mit diesem System untersucht werden kann. Ein weiterer Vorteil des Systems ist die Hervorhebung von sog. Highlights: „Was wurde von den Besucher:innen übersehen?“, „Warum werden die Besucher:innen davon angezogen?“, „Was sind die Interessen der Besucher:innen?“. Mit den Informationen, die das System bereitstellt,

kann die Ausstellung dahingehend umgestaltet werden, die Besucher:innen zu Ausstellungsstücken zu leiten, welche vorher nicht wahrgenommen wurden. Die Teilnehmer:innen gaben an, dass sie das System alle zwei Wochen oder einmal im Monat nutzen würden. Zusätzliche Informationen, welche von den Teilnehmer:innen gewünscht wurden, ist das Alter, Geschlecht und der Herkunftsort der Besucher:innen. Die Information über den Herkunftsort der Teilnehmer:innen hilft den Museumsleiter:innen, zwischen lokalen Besucher:innen und Touristen zu unterscheiden. Eine weitere interessante Information wäre auch eine Dropout-Rate, welche den Unterschied zwischen der gesamten und der betrachteten Länge der Medien berechnet.

Aus Sicht der Museumsleiter ist ein weiteres sinnvolles Feature, dass jede AR-Station, welche die Besucher:innen mit der AR-App betrachtet haben, bewertet und kommentiert werden kann. Die Ergebnisse davon könnten anschließend ebenfalls in der Visualisierung dargestellt werden. Zuletzt wäre eine Exportfunktion sinnvoll, mit der die Ergebnisse in eine CSV-Datei übertragen werden können oder eine Funktion, die Daten als Grafiken zu exportieren.

9.5 Fazit

In diesem Abschnitt wurde ein Visualisierungssystem vorgestellt, mit dem Nutzungsdaten von Interaktionen mit AR-Elementen visuell analysiert werden können. Das System weist nach der Evaluation mit SUS eine exzellente Gebrauchstauglichkeit auf. Museumsleiter haben im Rahmen von Interviews ausgesagt, dass sie sich vorstellen können, das System regelmäßig einzusetzen, um ihre AR-Touren zu analysieren. Die Museumsleiter hatten noch zusätzliche Vorschläge zur Erweiterung des Systems. Es wurde vorgeschlagen das Alter, Geschlecht und den Herkunftsort der Besucher:innen zu erfassen und ihnen die Möglichkeit zu geben, die einzelnen AR-Stationen zu bewerten und zu kommentieren. Nachdem das System fertiggestellt war und einige Daten von der InfoGrid Nutzung gesammelt wurden, hat der Autor dieser Arbeit mit den Kurator:innen und den weiteren Mitarbeiter:innen des ALS-Projektes die Daten untersucht. Dabei hat sich das System als ein gutes Werkzeug herausgestellt, um die Tage zu identifizieren, an denen die AR-Tour besonders häufig oder besonders selten genutzt wird. Innerhalb der Touren hat das System dabei geholfen, häufig und wenig genutzte Stationen zu identifizieren. Insbesondere die AR-Stationen, die wenig genutzt werden, konnten so technisch und von der Präsentation her überprüft werden um die Aufmerksamkeit der Besucher:innen bezüglich der Stationen zu steigern. Auf diese Weise bietet das System eine Ergänzung zu den Downloadstatistiken, welche in den Stores abrufbar sind.

10 Fallstudien

Das ALS-Projekt wurde nach den grundlagenorientierten Forschungen im Rahmen eines DFG-Erkenntnistransferprojekt mit zwei Lübeckern Schulprojektpartnern, dem Carl-Jacob-Burckhardt-Gymnasium und der Geschwister-Prenski-Schule und zwei Lübecker Museumsprojektpartnern dem Museum für Natur und Umwelt sowie dem Günter-Grass-Haus, begonnen. Anschließend sind weitere Partner, unter anderem das Buddenbrookhaus Lübeck und das Zentrum für Kulturwissenschaftliche Forschung Lübeck (ZKFL), hinzugekommen. Gemeinsam mit den Projektpartnern wurden Fragestellungen zum Thema Digitalisierung und insbesondere zum Thema AR-Authoring erforscht. Bei den Projektpartnern wurden unterschiedliche ALS-Anwendungen eingerichtet und zur öffentlichen Nutzung bereitgestellt.

10.1 Fallstudie Museum für Natur und Umwelt

Die erste InfoGrid AR-Tour wurde in Kooperation mit dem Museum für Natur und Umwelt Lübeck (MNU) realisiert. Dabei wurde zunächst ein Planungsdokument angelegt, in dem mögliche Stationen für die AR-Tour aufgeführt wurden. Dieses Planungsdokument wurde im Laufe der Umsetzung weiterentwickelt und als Grundlage für die inhaltliche Entwicklung verwendet. Die Entscheidungen, welche AR-Stationen in der Tour zuerst umgesetzt wurden, hingen von dem erwarteten Interesse der Besucher:innen und der zeitnahen Umsetzung ab. Die Mitarbeiter des Museums haben insbesondere Video- und Audioaufnahmen zu der AR-Tour beigetragen. Elemente, die in ihrer Erzeugung tiefergehende Kenntnisse erfordern, wie die Erzeugung von 3D-Objekten und AssetCollections, wurden im Rahmen von studentischen Arbeiten (Bachelorprojekten, Bachelorarbeiten) auf Basis von wissenschaftlichen Informationen, welche durch das Museum beigetragen wurden, iterativ entwickelt. Die erste Version von InfoGrid, welche im MNU eingesetzt wurde, war InfoGrid^{Light}. In dieser Version waren die inhaltlichen Elemente fest in der App integriert. Diese App diente als Grundlage für Studien der Gebrauchstauglichkeit und für die Bedarfsanalyse der finalen InfoGrid-Version, welche die Inhalte dynamisch von dem NEMO-Server abrufen. Im weiteren Verlauf der Entwicklung wurde im MNU ein NEMO-Server eingerichtet und InfoGrid^{Light} durch die finale Version von InfoGrid ersetzt. Besucher:innen wurden auf die vorhandene AR-Tour über einen Hinweis auf der Webseite des MNU

informiert. Außerdem wurde an der Kasse ein 10“ großer Bildschirm aufgestellt, auf dem ein tonloses Video in einer Dauerschleife angezeigt wurde, welches die Nutzung der App illustrierte (siehe Abb. 85). Die Besucher:innen konnten im Museum auf ein kostenfrei bereitgestelltes WLAN zugreifen, um die InfoGrid-App herunterzuladen und die Tourdaten abzurufen.



Abbildung 85: Digitaler Bilderrahmen im Museum für Natur und Umwelt, welcher ein Video der Nutzung von InfoGrid über ein tonloses Video in einer Dauerschleife zeigt.

Anschließend konnten die Besucher:innen die App starten und sich ein Einleitungsvideo zu der AR-Tour ansehen, in dem die Museumsleiterin einen Überblick über die Ausstellung gibt. In der Ausstellung wurden elf AR-Stationen umgesetzt, welche auf dem Grundriss der Ausstellung eingezeichnet sind (siehe Abb. 86).

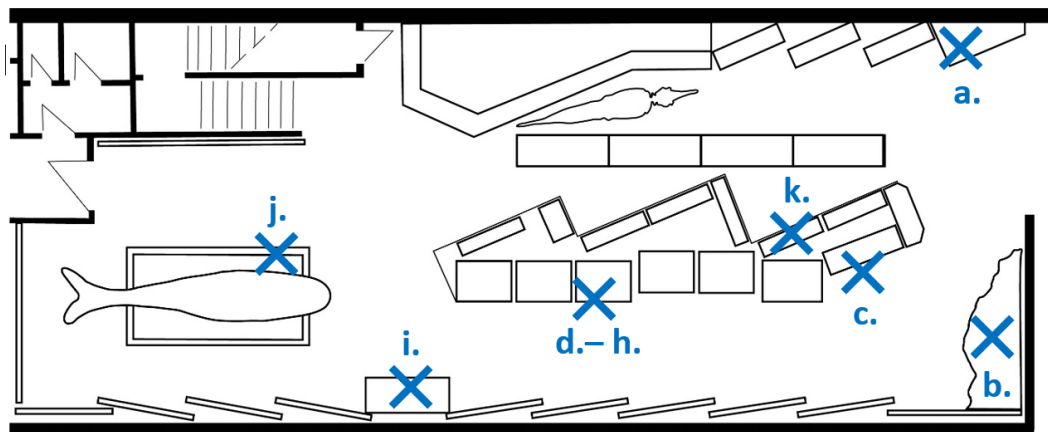
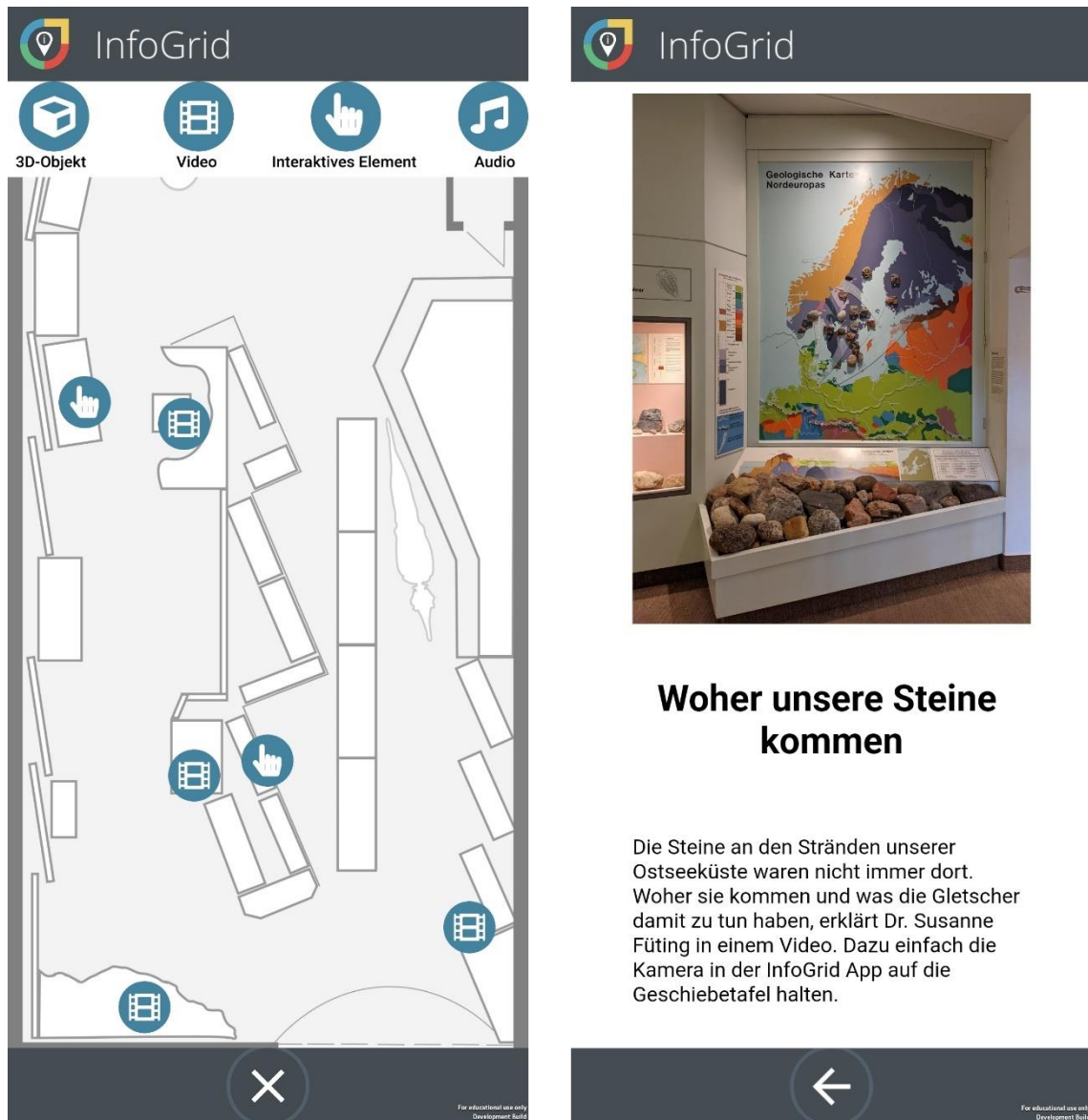


Abbildung 86: Grundriss des Museums für Natur und Umwelt mit markierten Orten, an denen AR-Stationen in der Ausstellung eingerichtet wurden.

Besucher:innen konnten sich über die Standorte der AR-Stationen über eine Kartenansicht innerhalb von InfoGrid informieren. Die Kartenansicht zeigt alle verfügbaren Stationen, an denen AR-Anreicherungen abgerufen werden können (siehe Abb. 87). Mit einer Touch-Geste auf eines der Symbole auf dem Grundriss konnten Detailinformationen zu der angewählten Station abgerufen werden.



Woher unsere Steine kommen

Die Steine an den Stränden unserer Ostseeküste waren nicht immer dort. Woher sie kommen und was die Gletscher damit zu tun haben, erklärt Dr. Susanne Fütting in einem Video. Dazu einfach die Kamera in der InfoGrid App auf die Geschiebetafel halten.

Abbildung 87: (Links) Kartenansicht des Museums für Natur und Umwelt innerhalb von InfoGrid. Auf der Karte, welche sich scrollen lässt, wird ein Grundriss des Erdgeschosses des Museums angezeigt, auf dem Symbole an allen Stellen ergänzt wurden, an denen AR-Inhalte abrufbar sind. (Rechts) Detailinformationen zu der angewählten Station.

Die Station a des Museums ist die geologische Karte Nordeuropas (siehe Abb. 88). Nach dem Erkennen des Targets spielt InfoGrid ein Video ab, in dem die Museumsleiterin die Verschiebung der Gletscher anhand der Karte erläutert.



Abbildung 88: Die geologische Karte Nordeuropas im Museum für Natur und Umwelt. Über InfoGrid kann ein Vollbildvideo betrachtet werden, in dem die Museumsleiterin die Verschiebung der Gletscher und die Herkunft der Steine an der Lübecker Ostseeküste erläutert.

Die Station b ist die Nachbildung des Brodtener Ufers (siehe Abb. 89). Wenn InfoGrid diese Station erfasst, wird ein Vollbildvideo abgespielt, welches in Kooperation mit dem Museum aufgezeichnet wurde. In dem Video werden Aufnahmen vom Brodtener Ufer gezeigt und die Entwicklung des Ufers beschrieben. Außerdem wird der Lebensraum der Uferschwalben, welche in den Brutröhren am Ufer leben, vorgestellt.

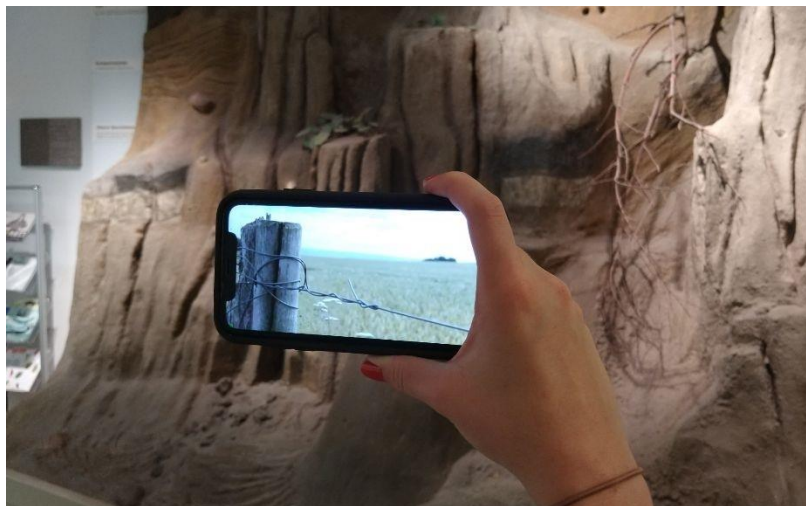


Abbildung 89: Nachbildung des Brodtener Ufers bei Travemünde im Museum für Natur und Umwelt. Über InfoGrid kann ein Vollbildvideo betrachtet werden, welches am Brodtener Ufer aufgezeichnet wurde und die Küstendynamik des arbeitenden Kliffs sowie den einzigartigen Lebensraum dieses Ortes zeigt.

In Station c wird eine Rekonstruktion einer Landschaft dargestellt, anhand welcher die Entstehung eines fiktiven Flusses beschrieben wird (siehe Abb. 90). Sobald InfoGrid diese Station erkennt, wird ein Vollbildvideo abgespielt, welches die Entstehung von Flüssen anhand des Beispiels des fiktiven „Aue-Stroms“ anhand mehrerer Illustrationen zeigt.



Abbildung 90: Landschaftsrekonstruktion im Museum für Natur und Umwelt. Über InfoGrid kann ein Vollbildvideo betrachtet werden, welches die Entstehung von Flüssen anhand des Beispiels des fiktiven „Aue-Stroms“ mit mehreren Illustrationen zeigt.

Bei den Stationen d bis h wird die nicht öffentlich zugängliche Grube von Groß Pampau in einer rekonstruierten Form dargestellt (siehe Abb. 91). Wenn das Mobilgerät auf die Posterwand mit der dargestellten Grube gerichtet wird, können zwei Overlay-Videos betrachtet werden. Diese Videos zeigen die Ausgrabung eines 11 Mio. Jahre alten Bartenwals aus der Ur-Nordsee und die Bodenbeschaffenheiten in der Grabungsstelle von Groß Pampau.



Abbildung 91: Nachbildung der Grabungsstelle von Groß Pampau im Museum für Natur und Umwelt. Über InfoGrid können zwei Overlay-Videos betrachtet werden, in denen die Ausgrabung eines 11 Mio. Jahre alten Bartenwals aus der Ur-Nordsee und die Bodenbeschaffenheiten in der Grabungsstelle von Groß Pampau gezeigt werden.

In der Grabungsszene im Museum gibt es ein ausgestellttes Schild (siehe Abb. 92), welches den Besucher:innen erlaubt, die ausgestellten Objekte zu berühren. Wenn InfoGrid auf das Schild gerichtet wird, zeigt es ein Overlay-Video, welches einen Überblick über die Grabungsstelle in Groß Pampau darstellt. Außerdem werden in dem Video die wissenschaftlichen Grabungen gezeigt.



Abbildung 92: Grabungsschild in dem Ausstellungsbereich von Groß Pampau im Museum für Natur und Umwelt. Über InfoGrid kann ein Overlay-Video betrachtet werden, welches einen Überblick über die Grabungsstelle in Groß Pampau und die wissenschaftlichen Grabungen zeigt.

In der Grabungsstelle liegt außerdem ein Zeitungsartikel aus, welcher über einen Fund in Groß Pampau berichtet. Wenn InfoGrid auf den Artikel gerichtet wird, wird das in der Zeitung dargestellte Bild (siehe Abb. 93) mit einem Video-Overlay überlagert und es wird ein Video dargestellt, welches über die Funde von Fossilien in der Grabungsstelle berichtet.



Abbildung 93: Bild in einem Zeitungsartikel im Museum für Natur und Umwelt. InfoGrid zeigt ein Overlay-Video über die Funde von Fossilien in der Grabungsstelle in Groß Pampau.

In der Grabungsstelle wird weiterhin eine Kieferspange eines Bartenwals auf einem rekonstruierten Untergrund ausgestellt (siehe Abb. 94). Wenn das Smartphone auf die Kieferspange gerichtet wird, stellt die App eine 3D-Rekonstruktion von Knochen eines Bartenwals dar, bei dem der Kiefer, welcher in der physischen Ausstellung zu sehen ist, farblich hervorgehoben wird. Dadurch erhalten Besucher:innen eine Vorstellung von der Größe des Wals. Bei einer Touch-Geste auf dem Display des Smartphones wird der Wal in lebendiger Form dargestellt und mit unterschiedlichen Schwimm-Animationen gezeigt. Der Wal wurde aus dem Unity Asset Store erworben und für die Ausstellung angepasst.



Abbildung 94: Kieferspange eines Bartenwals im Museum für Natur und Umwelt. InfoGrid zeigt zunächst ein 3D-Modell von Knochen eines Bartenwals, die sich bei einer Touch-Geste auf dem Smartphone in einen lebendig scheinenden Bartenwal verwandeln.

In Station i werden Knochen eines Miozän-Delfins in einer Vitrine ausgestellt (siehe Abb. 95). Wenn das Smartphone auf die Vitrine gerichtet wird, stellt InfoGrid einen in 3D rekonstruierten Miozän-Delfin in Bezug zu den ausgestellten Knochen dar. Der Delfin wurde im Rahmen eines Bachelorprojektes auf Basis einer 2D-Vorlage vom Museum in manueller Arbeit mit Blender rekonstruiert. Bei einer Touch-Geste auf das Display des Smartphones führt der Delfin Schwimmbewegungen aus.



Abbildung 95: Vitrine mit Knochen eines Miozän-Delfins im Museum für Natur und Umwelt. Über InfoGrid kann ein 3D-Modell eines Delfin betrachtet werden, welcher nach einer Touch-Geste auf dem Display des Smartphones unterschiedliche Schwimmbewegungen ausführt.

In Station j werden verteilte Rippenfragmente eines Wals in einer Vitrine in einer nachgestellten Szene ausgestellt (siehe Abb. 96). Wenn das Smartphone auf die Vitrine gerichtet wird, zeigt InfoGrid ein Walpuzzle an, in dem die einzelnen Skelettelemente auf die passende Stelle verschoben werden müssen. Nachdem alle Teile erfolgreich zusammengesetzt wurden, wird ein Foto von dem Wal mit einer zufällig ausgewählten Information, von denen drei in der App hinterlegt wurden, angezeigt. Das Puzzle kann mehrfach wiederholt und jederzeit wieder verlassen werden. Es wurde als AssetCollection im Rahmen eines Bachelorprojektes mit der Unity-Entwicklungsumgebung entwickelt.



Abbildung 96: Vitrine im Museum für Natur und Umwelt, in denen Rippenfragmente eines Wals in einer nachgestellten Szene ausgestellt werden. InfoGrid zeigt bei dieser Station ein Walpuzzle, in dem die einzelnen Skelettelemente auf die passende Stelle verschoben werden müssen.

In Station k wird ein Dinosaurier-Ei ausgestellt (siehe Abb. 97). Wenn das Smartphone auf das Ei gerichtet wird und eine Touch-Geste auf dem Display des Smartphones durchgeführt wird, zeigt InfoGrid eine modellierte 3D-Szene, in der ein fiktiver Blick in das Innere des Eis dargestellt wird. Innerhalb des Eis wird ein animierter Entenschnabel-Dinosaurier Embryo dargestellt. Die Szene wurde als AssetCollection im Rahmen eines Bachelorprojektes in der Unity-Entwicklungsumgebung entwickelt.



Abbildung 97: Dinosaurier Ei, welches im Museum für Natur und Umwelt ausgestellt wird. InfoGrid zeigt eine modellierte 3D-Szene, in der ein fiktiver Blick in das Innere des Dino-Eis dargestellt wird. Innerhalb des Eis wird ein animierter Entenschnabel-Dinosaurier Embryo dargestellt.

Die AR-Tour im Museum für Natur und Umwelt konnte während der regulären Öffnungszeiten, Dienstag bis Freitag von 9-17 Uhr und Samstag bis Sonntag von 10-17 Uhr, abgerufen werden. Von Oktober 2021 bis Oktober 2022 haben 217 Besucher:innen die App genutzt und 3956 Interaktionen durchgeführt (siehe Abb. 98). Die Nutzungszahlen sind konstant und an vielen Tagen verwenden mindestens 1-2 Besucher:innen die App.

Bei der Umsetzung der AR-Tour im Museum für Natur und Umwelt hat sich gezeigt, dass eine Werbung für die Verfügbarkeit der App in Form eines Videos im Kassensbereich dazu beiträgt, dass Besucher:innen auf das Angebot aufmerksam werden. In Ausstellungen, in denen nur Teile mit AR-Inhalten angereichert werden, ist es wichtig, diese Bereiche mit Symbolen kenntlich zu machen. Außerdem hat sich bei der Erstellung der Medien gezeigt, dass die Produktion von Videoinhalten durch Mitarbeiter des Museums für Natur und Umwelt gut funktioniert.

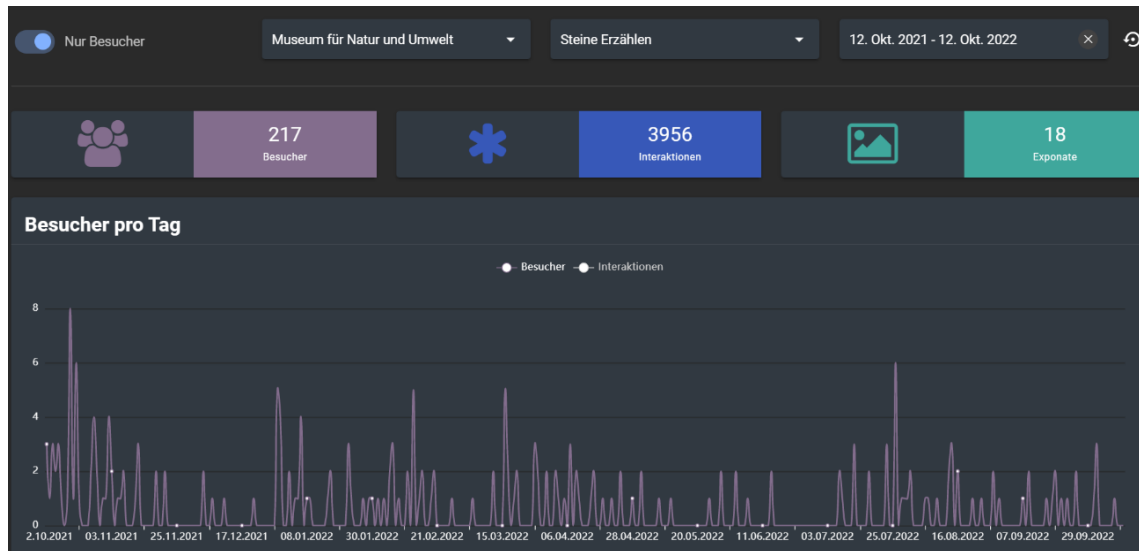


Abbildung 98: Anonyme Logdaten der Besucher- und Interaktionszahlen der AR-Tour „Steine Erzählen“ im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck über einen Zeitraum von 12 Monaten (Okt. 2021 – Okt. 2022).

Für die Produktion von 3D-Inhalten hat das Museum das Material bereitgestellt. Die Erzeugung der Inhalte wurde von Mitarbeiter:innen des ALS-Projektes und von Student:innen im Rahmen von Projektarbeiten übernommen. Da der Netzempfang von Smartphones innerhalb des Museums durch die Beschaffenheit des Gebäudes sehr schwach ist, hat sich die Bereitstellung eines frei zugänglichen WLANs im Museum als sehr nützlich herausgestellt. Bei der Evaluation der AR-Tour in mehreren Museumsnächten hat sich gezeigt, dass die App auf den Geräten der Besucher:innen gut läuft und eine hohe Gebrauchstauglichkeit aufweist. Außerdem hat sich herausgestellt, dass es sinnvoll ist, eine Android und iOS-Version von InfoGrid anzubieten, da sich von 37 Nutzer:innen 23 die Android-Version und 14 die iOS-Version der App heruntergeladen haben. Desweiteren hat sich gezeigt, dass es mehrere Gründe gibt, aus denen Besucher:innen die App nicht nutzen können. Ursachen dafür können sein, dass das Gerät nicht unterstützt wird, der Smartphone-Akku leer ist oder das Smartphone nicht mit in das Museum gebracht wurde. Die Fallstudie wird auch in der Publikation „InfoGrid4Museum : Eine mediale Vermittlungsstrategie mittels Augmented Reality für Museen“ (Ohlei et al., 2017) vorgestellt.

10.2 Fallstudie Bremische Bürgerschaft

Anlässlich des 90. Geburtstags von Günter Grass wurden im Gebäude der Bremischen Bürgerschaft ab dem 29. September bis 10. November 2017 insgesamt 72 Kunstwerke von Günter Grass, darunter Aquarelle, Radierungen und Lithographien ausgestellt (Bremische Bürgerschaft, 2017). Die Ausstellung wurde von der Günter und Ute Grass Stiftung kuratiert. Die Werke wurden über drei Etagen verteilt ausgestellt und waren für Besucher:innen der Bremischen Bürgerschaft kostenfrei zugänglich. In dem Gebäude wurde ebenfalls ein freies WLAN eingerichtet, über das sich die Besucher:innen InfoGrid herunterladen konnten. Das Setting und die Studie werden in der Publikation „InfoGrid: An Approach for Curators to Digitally Enrich their Exhibitions“ dargestellt (Ohlei, Bouck-Standen, et al., 2018). Von den 72 ausgestellten Werken wurden 23 mit AR-Inhalten angereichert. Von den 23 Werken wurden sechs mit Texten von Gedichten erweitert, sieben mit zusätzlichem Bildmaterial, fünf mit Audioaufnahmen, drei mit Videoaufnahmen und zwei mit 3D-Objekten. Bei den dargestellten 3D-Objekten handelte es sich um 3D-Rekonstruktionen von den Ausstellungsstücken „Der Butt“ und „Sieben Vögel“, welche im Günter Grass-Haus in Lübeck ausgestellt werden und sich aufgrund ihrer Beschaffenheit nicht für einen Transport eignen. Um die Werke zu erkennen, die mit InfoGrid eingescannt werden konnten, wurden kleine Symbole unter den Werken angebracht (siehe Abb. 99).



Abbildung 99: Links: InfoGrid stellt das 3D-Modell der rekonstruierten Skulptur „der Butt“ von Günter Grass dar. Rechts: drei Werke von Günter Grass, welche in der Bremischen Bürgerschaft ausgestellt wurden. Symbole an den Werken gaben den Besucher:innen den Hinweis, dass die Bilder mit InfoGrid eingescannt werden können.

Die Verfügbarkeit von InfoGrid wurde auf der Webseite und im Eingangsbereich der Bremischen Bürgerschaft mit einem Poster beworben. Auf dem Poster waren ebenfalls die Zugangsinformationen für das WLAN, ein QR-Code zum Download der App sowie eine kurze Anleitung zur Nutzung. Das WLAN war ausschließlich im Eingangsbereich über einen mobilen Hotspot verfügbar.

Über die Nutzungszeit von sieben Wochen gab es insgesamt 32 App-Installationen. Für die geringen Nutzungszahlen kann es unterschiedliche Gründe geben. Es kann sein, dass es über den Zeitraum insgesamt wenig Besucher:innen in der Ausstellung gab, dass viele Besucher:innen die Informationen zu der Verfügbarkeit von InfoGrid nicht wahrgenommen haben oder dass die Besucher:innen kein Interesse an der Nutzung der AR-Inhalte hatten. Da die Bremische Bürgerschaft ein offenes Gebäude ist und es keine Kasse oder Information am Eingang gibt, gab es auch keine Möglichkeit, die Besucher:innen auf diesem Weg über InfoGrid zu informieren oder Personal zu dem Nutzungsverhalten der Besucher:innen zu befragen. Bei der Analyse der Nutzungsdaten wurde festgestellt, dass die Nutzer:innen durchschnittlich 6.62 (SD = 6,12) AR-Inhalte betrachtet haben.

10.3 Fallstudie Zentrum für Kulturwissenschaftliche Forschung Lübeck

Im Zentrum für Kulturwissenschaftliche Forschung in Lübeck (ZKFL) wurde ab 2012 ein Programm aufgesetzt, um Nachwuchswissenschaftler:innen die Möglichkeit gibt, die Kultur und Geschichte der Hansestadt Lübeck zu erforschen. In der Museumsnacht 2016 wurde erstmalig ein Kooperationsprojekt zwischen den Stipendiat:innen des ZKFL und dem ALS-Projekt durchgeführt. Dabei wurde für die Museumsnacht 2016 eine InfoGrid-Tour vorbereitet, die über die Forschungsprojekte der Stipendiat:innen informiert hat. Alle Stipendiat:innen haben dabei ein Poster entwickelt, auf dem eine Überschrift zu dem Forschungsprojekt, ein Bild zu dem Forschungsprojekt sowie ein Foto von den Stipendiat:innen zu sehen war. Alle Stipendiat:innen haben außerdem jeweils zwei Videos vorbereitet, in denen jeweils das Projekt und die Person vorgestellt wurden. Diese Videos wurden dann mittels InfoGrid mit den Postern verknüpft, sodass die Besucher:innen InfoGrid zum Betrachten der Videos nutzen konnten. In der Museumsnacht 2016 wurden neun Poster der neun Stipendiat:innen an Aufstellern im Hörsaal des ZKFL ausgestellt (siehe Abb. 100). Zusätzlich wurde am Eingang des Hörsaals ein Poster ausgestellt, welches Informationen zur Verfügbarkeit von InfoGrid und einen QR-Code zum Download gezeigt hat. Im Hörsaal wurde außerdem eine Projektion des Posters an die Wand projiziert. In der Museumsnacht 2018 wurde das Projekt wiederholt und es wurden 12 Poster der Stipendiaten ausgestellt.



Abbildung 100: Ausstellung von Postern im Hörsaal des ZKFL zur Museumsnacht 2016, welche die Projekte der Stipendiat:innen des ZKFL darstellen. Im Hintergrund ist die Projektion der InfoGrid-Anleitung sichtbar. Im Vordergrund wird InfoGrid genutzt, um ein AR-Video zu betrachten.

10.4 Fallstudie Buddenbrookhaus

Ein weiteres AR-Setting wurde in Kooperation mit dem Buddenbrookhaus (Heinrich-und-Thomas-Mann-Zentrum Lübeck) gestaltet. Das Buddenbrookhaus wurde im Dezember 2019 wegen Umbau geschlossen. Die Umbauarbeiten sollen bis zum Jahr 2025 abgeschlossen sein. Damit die Ausstellung in der Zwischenzeit nicht völlig aus der Öffentlichkeit verschwindet, wurde ein Museumsshop am Rathausmarkt in der Lübecker Innenstadt eröffnet. In Kooperation mit dem ALS-Projekt wurde darüber hinaus eine digitale Interimsausstellung in dem Gebäude, in dem auch der Museumsshop untergebracht ist, umgesetzt. Für die Interimsausstellung wurde eine Interactive Wall, eine InfoGrid AR-Tour und ein lokaler NEMO-Server eingerichtet (siehe Abb. 101).



Abbildung 101: Foto von der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt. Im Hintergrund ist ein Multitouch-Bildschirm, auf dem eine Interactive Wall eingerichtet ist, zu sehen. Im Raum verteilt stehen die Targets der InfoGrid-Tour.

Die Interimsausstellung wurde am 10.07.2021 eröffnet und es war geplant, dass sie bis zur Eröffnung des Umbaus bestehen bleibt. Interessierte Personen wurden auf die vorhandene AR-Tour über einen Hinweis auf der Webseite des Buddenbrookhauses informiert. Außerdem gab es im Eingangsbereich des Ausstellungsraumes ein Informationsvideo, das auf einem Bildschirm in einer Dauerschleife ablief. In dem Video wurde den Besucher:innen die Installation und die Nutzung von InfoGrid vorgestellt (siehe Abb. 102). Innerhalb der Ausstellung gab es insgesamt 36 unterschiedliche Targets, die mit AR-Inhalten erweitert wurden. Inhaltlich wurden 9 Familienmitglieder der Familie Mann mit jeweils 3 Targets vorgestellt. Dabei war jeweils ein Target auf einem Poster im Innenraum der Ausstellung zu sehen.



Abbildung 102: Digitaler Bildschirm in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt in Lübeck, welcher die Nutzung von InfoGrid in Form eines tonlosen Videos in einer Dauerschleife anzeigt.

Des Weiteren waren jeweils zwei Fensterfolien der Familienmitglieder an den Fenstern der Ausstellung angebracht, von denen eine vom Innenraum der Ausstellung und eine von außerhalb des Gebäudes zu sehen war. Durch das Einscannen der Fensterfolien wurde jeweils ein Vollbildvideo gestartet, welches Hintergrundinformationen zu der Person zeigte. Außerdem wurden 6 Targets im Innenraum der Ausstellung auf Sockeln aufgebaut, welche 3D-Rekonstruktionen von unterschiedlichen Ausstellungsstücken darstellten, während eine zusätzliche Audiowiedergabe Hintergründe zu dem jeweiligen Objekt beschrieb. Weiterhin gab es 3 Targets bei einem Klavier in der Ausstellung, über die sich Vollbildvideos mit Aufzeichnungen von Klavierstücken abrufen ließen. Folgende Inhalte waren Bestandteil der AR-Tour:

Familie Mann (Vollbildvideos):

1. Thomas Mann
2. Heinrich Mann
3. Erika Mann
4. Klaus Mann
5. Golo Mann
6. Monika Mann
7. Elisabeth Mann Borgese
8. Michael Mann
9. Leonie Mann

3D-Modelle (AssetCollections mit Audiowiedergabe):

1. Hausmodell

2. Pokal
3. Portrait
4. Schaukelpferd
5. Tabakdose
6. Taufschale

Klavierstücke (Vollbildvideos):

1. Fragebogen
2. Kinderspiele
3. Kirchenlieder

Die Videos zu der Familie Mann sowie zu den Klavierstücken wurden von Mitarbeitern des Museums erstellt. Die eingesprochenen Texte wurden von einer professionellen Sprecherin im Auftrag des Buddenbrookhauses aufgezeichnet und vom Museum mit dem Videomaterial verknüpft. Die 3D-Objekte wurden von Mitarbeitern des ALS-Projektes auf Basis physischer Objekte des Buddenbrookhauses erzeugt. Anschließend wurden die 3D-Objekte von Mitarbeiter:innen des ALS-Projektes in Form einer AssetCollection übernommen und mit einer vom Museum bereitgestellten Audiospur verknüpft (siehe Abb. 104). Diese wurden automatisch parallel zu der visuellen Darstellung des Objektes abgespielt. Als Targets für die 3D-Objekte wurden die Texturen der Objekte gewählt (siehe Abb. 103).



Abbildung 103: Das InfoGrid-Target für das 3D-Hausmodell, welches in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses ausgestellt wurde. Das Target bestand aus der Textur des dargestellten 3D-Objektes.



Abbildung 104: Darstellung von vier AssetCollections in der Ausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt. (Oben links) Darstellung eines Hausmodells. (Oben rechts) Darstellung einer Tabakdose. (Unten links) Darstellung eines Bildes. (Unten rechts) Darstellung eines Pokals.

Die Besucher:innen der Ausstellung am Rathausmarkt konnten sich mit einem frei verfügbaren WLAN verbinden, um InfoGrid herunterzuladen und die AR-Tour zu nutzen. Die AR-Tour in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses konnte während der regulären Öffnungszeiten von Mo.-Sa., 11.00 - 17.00 Uhr, abgerufen werden. Außerdem konnte die AR-Tour auch von außerhalb des Gebäudes genutzt werden, indem die Fensterfolien von den Besucher:innen von außerhalb des Gebäudes mit InfoGrid eingescannt wurden. Dies ermöglichte eine Nutzung eines Teils der AR-Tour rund um die Uhr. Außerdem sollte es das Interesse an dem Besuch der Ausstellung wecken. Von Oktober 2021 bis Oktober 2022 haben 234 Besucher:innen InfoGrid genutzt und 3043 Interaktionen durchgeführt (siehe Abb. 105). Die Nutzungszahlen waren konstant und an vielen Tagen verwendeten mindestens 1-2 Besucher:innen die App.

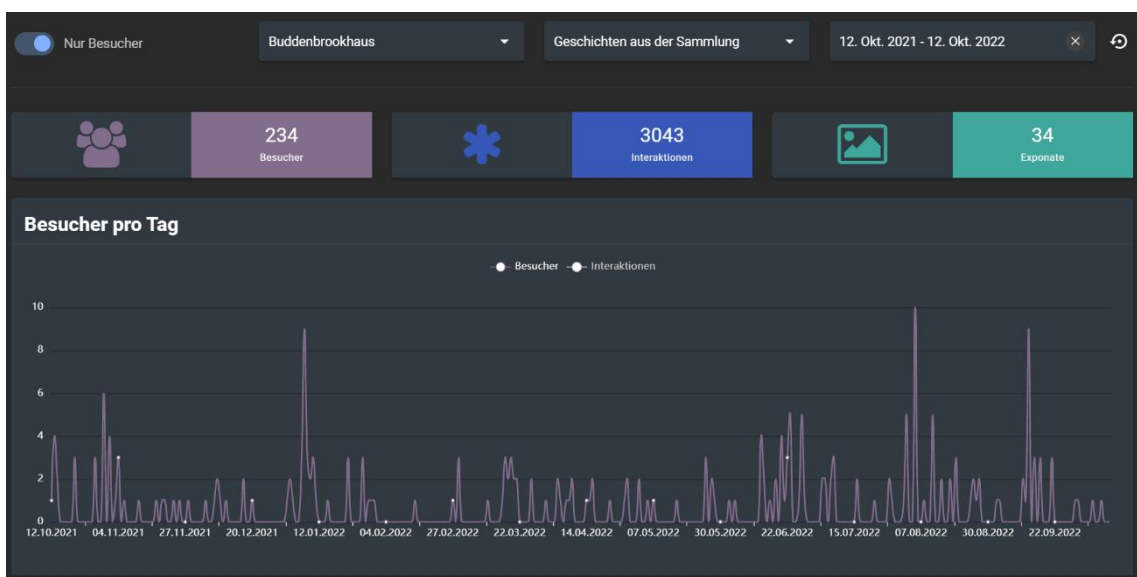


Abbildung 105: Anonyme Logdaten der Besucher- und Interaktionszahlen der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt über einen Zeitraum von 12 Monaten (Okt. 2021 – Okt 2022).

Einer weiteren Ansicht der Logdaten (siehe Abb. 106) kann entnommen werden, welche Pfade die Besucher:innen innerhalb der Ausstellung am häufigsten gewählt haben und mit welchem Ausstellungsstück am häufigsten interagiert wurde. In der Abbildung ist erkenntlich, dass die Besucher:innen das Hausmodell, die Tabakdose und den Pokal am häufigsten eingescannt haben. Diese Objekte stehen sehr zentral im Innenraum. Die Bilder auf den Postern an der Wand wurden seltener eingescannt aber die Nutzung ist über die Poster hinweg relativ gleichmäßig verteilt. Am seltensten wurden die Fensterfolien vom Innenraum aus sowie von außen eingescannt.

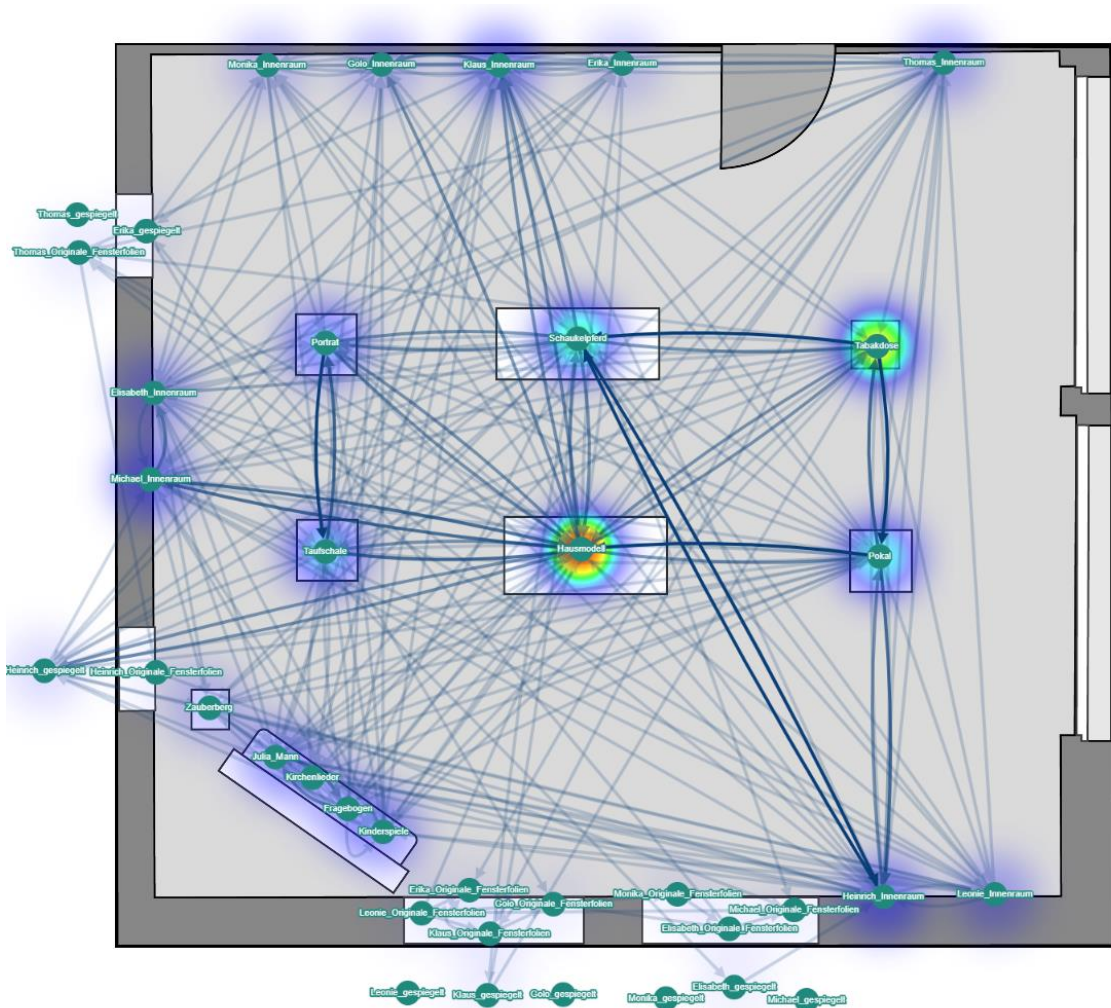


Abbildung 106: Visuelle Auswertung der Logdaten des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt mit sichtbaren Besucherpfaden und einer Heatmap. Es wird ein Zeitraum von 12 Monaten (Okt. 2021 – Okt. 2022) dargestellt. Je häufiger ein Besucherpfad gewählt wurde, desto intensiver ist er farblich erkennbar. Je mehr Interaktionen mit einem Objekt durchgeführt wurden, desto intensiver sind die Farben der Heatmap dargestellt.

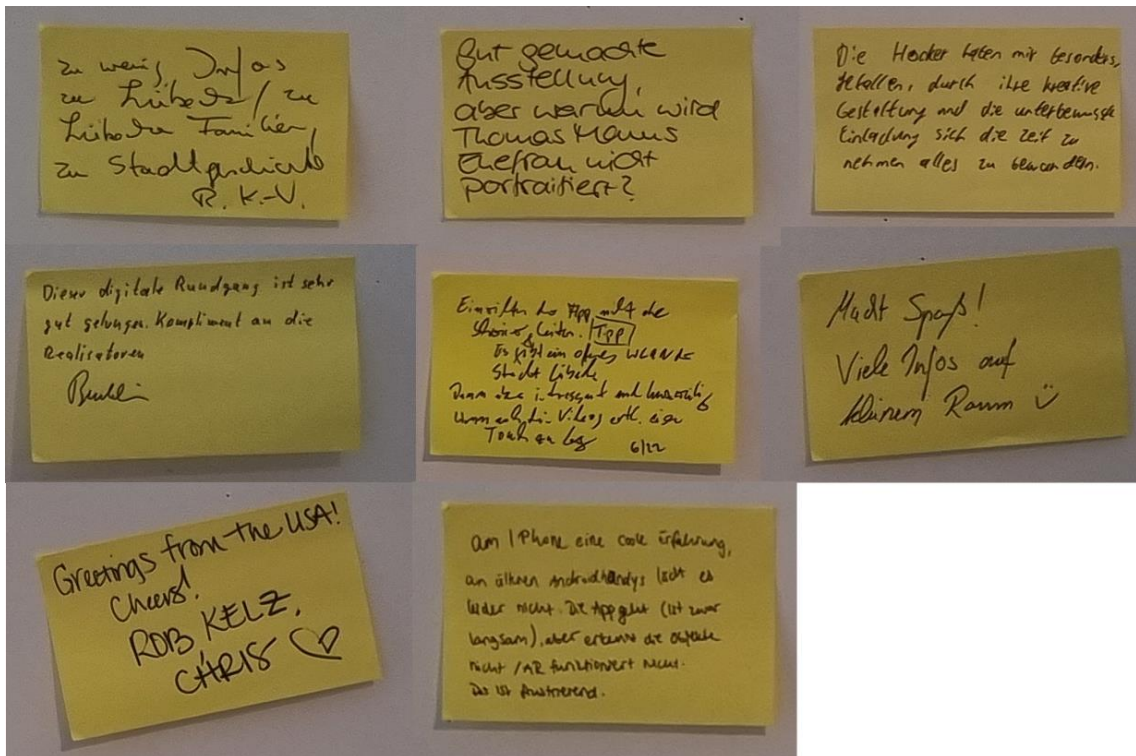


Abbildung 107: Besucher:innen konnten an einem Aufsteller, im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt, ein Feedback in Form eines Notizzettels hinterlassen. In der Abbildung werden alle Feedbacks (Stand 02.10.2021) der Besucher:innen zur Interimsausstellung abgebildet.

Innerhalb der Ausstellung wurde ein Aufsteller dazu genutzt, Feedback von den Besucher:innen einzusammeln. An dem Aufsteller waren selbstklebende Notizzettel und Stifte angebracht. Außerdem gab es an dem Aufsteller einen Hinweis, wie sich die Besucher:innen mit dem freien WLAN verbinden können. Insgesamt gab es durchwegs positive Rückmeldungen der Besucher:innen zu der Ausstellung. Rückmeldungen der Besucher:innen bis zum 02.10.2022 werden in Abb. 107 dargestellt.

Bei der Erstellung der AR-Tour ist aufgefallen, dass die Erkennung von Fensterbildern mit einem Smartphone nur unter passenden Voraussetzungen gut funktioniert (siehe Abb. 108). Eine bestimmte Grundhelligkeit ist für die Erkennung notwendig. Die Umgebung darf aber auch nicht zu hell sein, da sich sonst Spiegelungen ergeben können, welche die Erkennung ebenfalls einschränken.

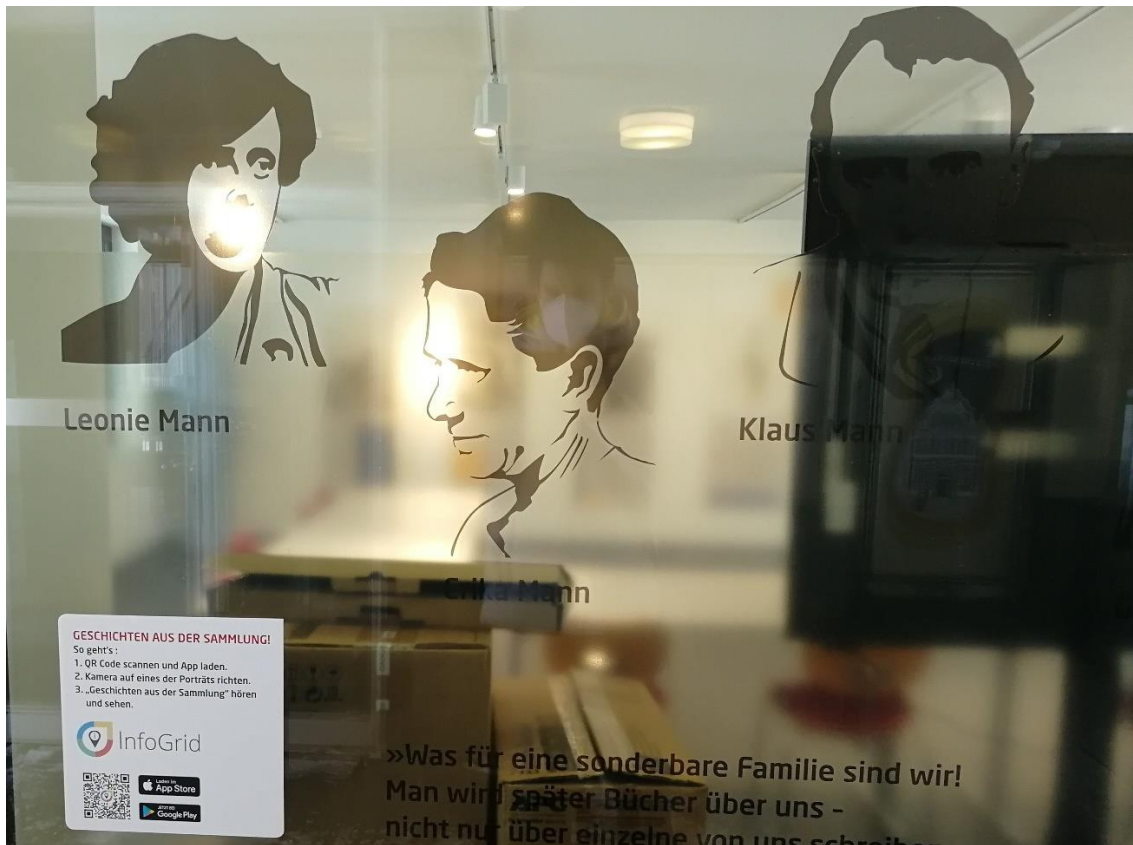


Abbildung 108: Fensterbilder von außen am Infozentrum des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt. An der dargestellten Scheibe wurden drei Familienmitglieder der Familie Mann abgebildet. Die Abbildung von Klaus Mann ist schwer erkennbar. Im unteren Teil des Bildes wird eine Anleitung zur Installation von InfoGrid vorgestellt.

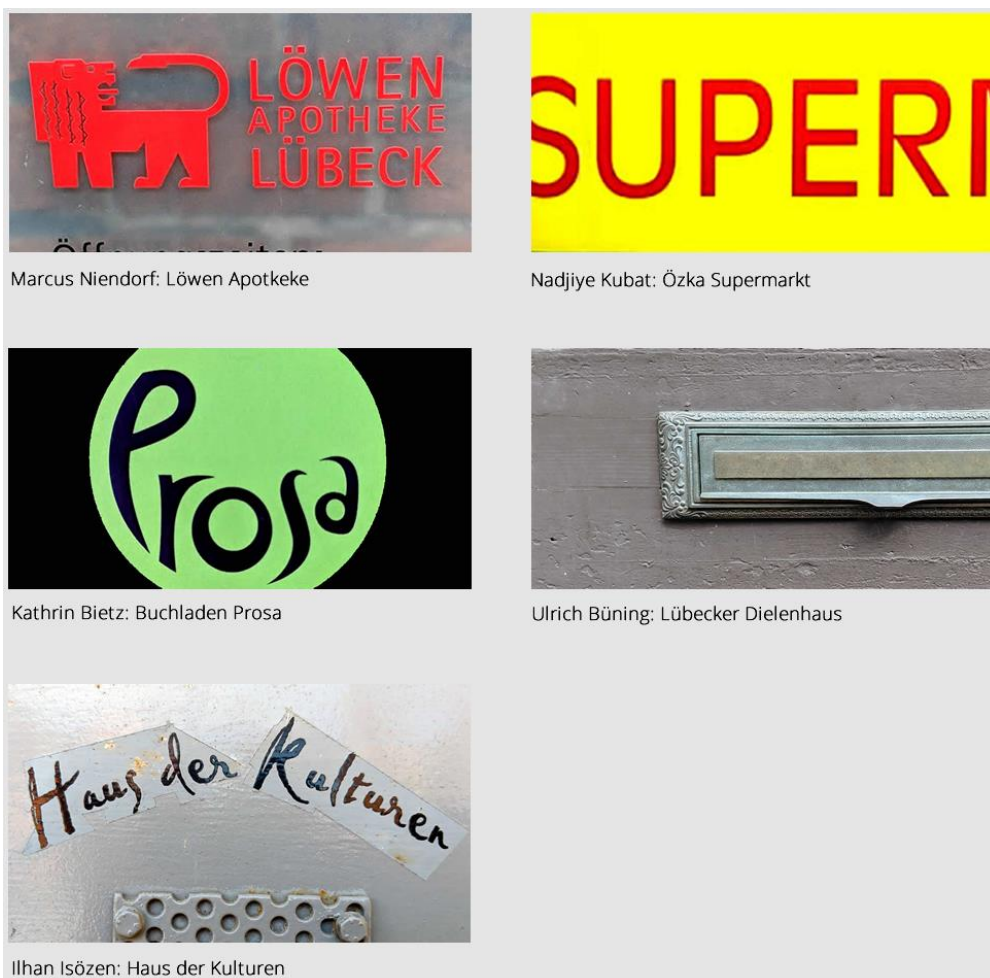
10.5 Fallstudie Carl-Jacob-Burckhardt-Gymnasium

Schüler:innen des Carl-Jacob-Burckhardt-Gymnasiums Lübeck (CJB) haben im Schuljahr 2018/19 die AR-Tour „Mapping Places“ im Rahmen eines Kunsturses unter Anleitung durch eine Lehrerin entwickelt. Die AR-Tour bestand aus 5 Video-Porträts, welche an 5 unterschiedlichen Orten in der Lübecker Innenstadt (siehe Abb. 109) abgerufen werden konnten.



Abbildung 109: Im Introvideo der AR-Tour Mapping Places wird eine Karte von Lübeck gezeigt, auf der die Orte, an denen die Targets zu finden sind, beschrieben wird.

Die Video-Porträts stellten Menschen dar, die biografisch über ihre Beziehung zu diesem Ort (siehe Abb. 110) berichteten. So konnten Informationen vermittelt werden, die an dem Ort selbst nicht unmittelbar erkenntlich waren.



Marcus Niendorf: Löwen Apotheke

Nadjije Kubat: Özka Supermarkt

Kathrin Bietz: Buchladen Prosa

Ulrich Büning: Lübecker Dielenhaus

Ilhan Isözen: Haus der Kulturen

Abbildung 110: Fünf Targets der AR-Tour Mapping Places.

Beim Start der AR-Tour wurde den Nutzer:innen ein Einleitungsvideo mit einer Erläuterung zum Hintergrund des Projektes sowie eine Übersichtskarte mit allen Stationen der Tour gezeigt. Insgesamt hat dieses Projekt gezeigt, dass die Schüler die Materialsammlung und den Videoschnitt sehr gut umgesetzt haben. Bei der Gestaltung des Intro-Videos und der Erstellung der Targets wurden die Schüler durch wissenschaftliche Mitarbeiter des ALS-Projektes unterstützt. Die Unterstützung wurde benötigt, da die schriftlichen Anleitungen zu dem Zeitpunkt noch nicht komplett ausgearbeitet waren und dies das erste Projekt der Schüler:innen gewesen ist.

10.6 Fallstudie Geschwister-Prenski-Schule

Schüler:innen der Gesamtschule Geschwister-Prenski-Schule Lübeck haben 2018 im Rahmen ihres Biologieunterrichts die Wildbienenbehausung im Lübecker Schulgarten neu gestaltet. Dazu haben Sie ebenfalls eine AR-Tour erstellt, die an der Bienenwand im Schulgarten nutzbar war (siehe Abb. 111).



Abbildung 111: Illustration der Nutzung der AR-Tour „Bienen“ im Lübecker Schulgarten.

Dabei haben sie unterschiedliche Videos erzeugt, welche über das Bienensterben bis hin zur sinnvollen Gestaltung von Bienenwänden berichtet haben. Wenn Nutzer:innen von InfoGrid ihr Smartphone auf unterschiedliche Bereiche der Bienenwand gerichtet haben, konnten die verknüpften Videos aufgerufen werden. Dieses Projekt hat gezeigt, dass AR-Touren auch im Biologie Unterricht sinnvoll genutzt werden können um Medien, die von Schülern produziert wurden, öffentlich verfügbar zu machen.

10.7 Fallstudie Hanse-Schule

Schüler:innen der Hanse-Schule in Lübeck (Gewerbeschule) haben im Rahmen ihres Unterrichts eine AR-Tour mit InfoGrid erstellt (siehe Abb. 112). Zunächst haben die Schüler:innen Videos von einem Teil der Lehrer:innen sowie weiterer Mitarbeiter:innen aufgenommen. In den Videos beschrieben die Lehrer:innen sowie die weiteren Mitarbeiter:innen, wie sie zu der Hanse-Schule gekommen sind und welche Aufgaben sie in der Schule nachgehen.



Abbildung 112: InfoGrid Bildschirmfoto der AR-Tour zu Vorstellung des Leitungsteams der Hanse-Schule.

Diese Videos haben die Schüler:innen anschließend mit Bildern der Lehrer:innen sowie der weiteren Mitarbeiter:innen verknüpft, welche in einem Flur innerhalb der Schule hängen. Jeder Interessierte konnte sich mittels InfoGrid die Kurzvorstellung der Personen ansehen. Im Rahmen der Erstellung dieser Tour haben die Schüler sich mit dem Thema Interview von Personen befasst und Aufnahmen der Lehrer erzeugt. Anschließend haben sie das Material mit VideoEdit geschnitten und die fertigen Videos der AR-Tour zugeordnet. Das Erzeugen der Targets wurde von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter des ALS-Projektes unterstützt, da die Schüler den Prozess mit dem externen Vuforia-System noch nicht kannten. Der Lehrer, welcher die Bearbeitung des Projektes begleitet hat, war sehr erfahren in der Medienproduktion und konnte den Schüler daher viele Tipps zur Produktion der Videos geben. In diesem Projekt hat sich gezeigt,

dass es von Vorteil ist, wenn der Lehrer in der Medienproduktion erfahren ist, da er den Schülern Hinweise zur korrekten Ausrichtung des Smartphones, zur Kontrolle der Lautstärke und weiteren relevanten Faktoren zur Videoproduktion geben kann.

10.8 Fallstudie Dorothea-Schlötzer-Schule

Schüler:innen der Dorothea-Schlötzer-Schule haben im Französischunterricht eine AR-Tour als digitalen Stadtführer zu ihren Lieblingsplätzen in der Lübecker Innenstadt gestaltet. Inhaltlich umfasst die AR-Tour Kurzvideos, welche in französischer Sprache vertont sind. Diese Tour ist für Austauschschüler und französischsprachige Besucher:innen der Stadt gedacht, die so die unterschiedlichen Orte in Ihrer Muttersprache entdecken können (siehe Abb. 113).

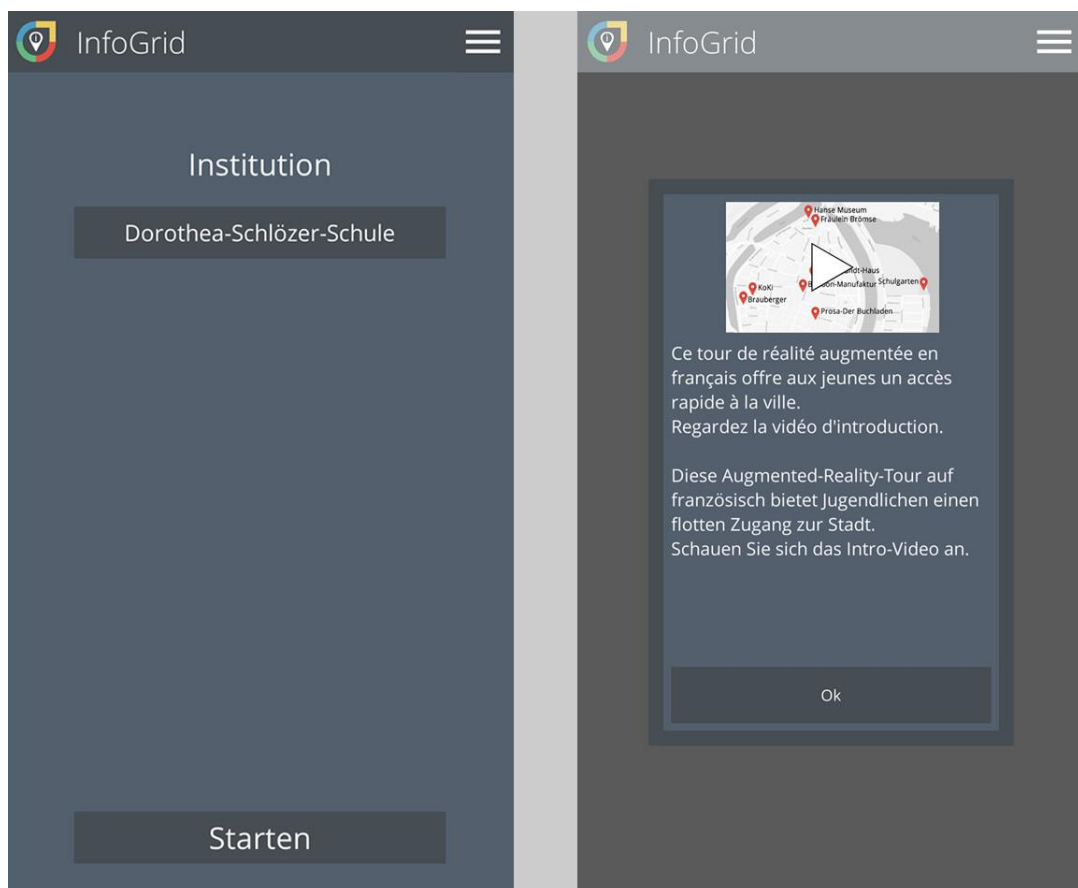


Abbildung 113: InfoGrid Bildschirmfoto der AR-Tour der Dorothea-Schlötzer-Schule.

Die Tour wurde über ein Werbeflyer angekündigt (siehe Abb. 114). Wie in den anderen Schülerprojekten hatten die Schüler viel Freude bei der kreativen Arbeit und der Produktion der Videos. Bei der Erstellung der Targets wurden die Schüler:innen durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter des ALS-Projektes unterstützt. Inhaltlich wurden die Schüler von ihrer Französisch-

lehrerin unterstützt. Diese hat in Kooperation mit dem wissenschaftlichen Mitarbeiter des ALS-Projektes die Tour gemeinsam auf die Qualität hin geprüft und optimiert.

InfoGrid :: Augmented-Reality-Tour

Lübeck pour les jeunes



Im Rahmen des Augmented-Reality-Projekts InfoGrid realisierten Schüler*innen der Dorothea-Schlözer-Schule im Französischunterricht der Berufsoberschule unter der Leitung von Dorothea Ernst Kurzvideos zu ihren Lieblingsplätzen in der Lübecker Innenstadt. Die erläuternden Texte sind auf Französisch gesprochen und sollen junge, französischsprachende Besucher der Stadt einladen, diese Orte zu entdecken.

Laden Sie kostenfrei die App InfoGrid auf ihr Smartphone. Starten Sie die App und wählen Sie unter Institutionen die Dorothea-Schlözer-Schule aus. Starten Sie die App und klicken Sie das Intro-Video an, in dem Ihnen die acht Orte mit ihren Erkennungsmerkmalen, sogenannten Targets, vorgestellt werden. So können sie diese mit der Kamerafunktion ihres Smartphones am jeweiligen Ort ansteuern und das von den Schüler*innen erstellte Video auslösen.

Das Unterrichtsprojekt wurde unterstützt von der KiMM-Initiative der Schülerakademie der Universität zu Lübeck. Diese wird maßgeblich von der Possehl-Stiftung gefördert.



Abbildung 114: Werbeflyer für die AR-Tour der Dorothea-Schlözer-Schule.

10.9 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vier Fallstudien mit Museen und Kultureinrichtungen aus Lübeck vorgestellt, in denen InfoGrid eingesetzt wurde. Drei Fallstudien liefen über einen mehrjährigen Zeitraum und wurden während der Laufzeit inhaltlich weiterentwickelt. Die Fallstudie in der Bremischen Bürgerschaft war für einen speziellen Anlass, den Geburtstag von Günter Grass gedacht und wurde daher nur für einen Zeitraum von einigen Wochen in der bre-mischen Bürgerschaft angeboten. Bei den Fallstudien in den Lübecker Museen wurden an den Museumstagen in Lübeck jeweils unterschiedliche Studien und Beobachtungen der Besucher durchgeführt, da an diesen Tagen das Besucheraufkommen besonders hoch war. Tabelle 4 stellt eine Übersicht über die durchgeführten Fallstudien in den Schulen und Museen dar und gibt einen Überblick über die Anzahl der dargestellten AR-Inhalte und beschreibt, wer die Inhalte erzeugt und platziert hat.

Tabelle 4: Übersicht über die im Rahmen der Arbeit vorgestellten Fallstudien, in denen InfoGrid eingesetzt wurde, in Lübecker Museen, Kultureinrichtungen und Schulen.

Fallstudie	Anzahl der AR-Elemente	Beteiligte Personen bei der Produktion der Medien, welche in der AR-Tour genutzt wurden	Beteiligte Personen bei der Zuweisung der Medien zu den AR-Targets
Museum für Natur und Umwelt	13	Mitarbeiter:innen im FÖJ, ALS-Projektmitarbeiter:innen	Mitarbeiter:innen im FÖJ, ALS-Projektmitarbeiter:innen
Bremische Bürgerschaft	23	Mitarbeiter:innen des Günter-Grass Hauses, ALS-Projektmitarbeiter:innen	ALS-Projektmitarbeiter:innen
Zentrum für Kulturwissenschaftliche Forschung Lübeck (ZKFL)	27	ZKFL-Projektmitarbeiter:innen	ALS-Projektmitarbeiter:innen
Buddenbrookhaus	38	Buddenbrookhaus Mitarbeiter:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen	Buddenbrookhaus Mitarbeiter:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen
Carl-Jacob-Burckhardt-Gymnasium	8	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen

Geschwister-Prenski-Schule	5	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen
Hanse-Schule	10	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen
Dorothea-Schlötzer-Schule	9	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen	Schüler:innen, ALS-Projektmitarbeiter:innen

Bei allen umgesetzten Fallstudien war es zunächst wichtig, mit den Einrichtungen die Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von InfoGrid ergeben, zu erläutern und anhand von Beispiel-Touren zu illustrieren. Dadurch hatten die Kurator:innen einen Einblick in die Funktionsweise von InfoGrid und konnten Ideen für den Einsatz in der eigenen Einrichtung entwickeln. Während der Zeit, in denen InfoGrid im Einsatz war, gab es viele Wechsel bei dem Kassenspersonal der Museen, was dazu geführt hat, dass die neuen Mitarbeiter:innen InfoGrid zunächst noch nicht kannten und den Besucher:innen die Verwendung daher noch nicht erklären konnten. Als Lösung dafür wurde von ALS-Mitarbeiter:innen in Zusammenarbeit mit den Kurator:innen ein Einführungsvideo erstellt, welches den Besucher:innen den gesamten Prozess der Installation und Nutzung von InfoGrid visuell darstellt. Dieses Video wurde anschließend auf einem 12“-Bildschirm (Tablet) an den Kassen der Einrichtungen dargestellt und in einer Dauerschleife wiedergegeben. Damit das Video die Mitarbeiter:innen an den Kassen nicht stört, wurde es so gestaltet, dass es keine Tonspur enthielt.

Bei dem Einsatz von InfoGrid in den Museen hat sich außerdem gezeigt, dass die Museumsmitarbeiter:innen Probleme mit der App nicht selbstständig bemerken. Als InfoGrid erstmalig in den Museen eingerichtet war, haben zunächst die Besucher:innen die Museumsmitarbeiter:innen über Probleme mit der App informiert. Diese Informationen wurden dann aber auch nur in einem weiteren verzögerten Prozess weitergegeben und anschließend gelöst. Aus diesem Grund wurde für die ALS-Anwendungen ein Monitoring-System entwickelt, welches alle Anwendungen in kurzen Zeitabständen auf Funktion geprüft hat. Falls ein System nicht wie erwartet reagiert hat, wurde automatisch eine E-Mail an das ALS-Team gesendet, sodass sich der/die jeweils verantwortliche Mitarbeiter:in das Problem ansehen und lösen konnte. Durch diese Struktur wurde sichergestellt, dass typische technische Probleme automatisch erkannt wurden. Nach der Einrichtung des Systems gab es keinen Fall mehr, indem ein Problem von den Museen berichtet werden musste.

Bei der Betrachtung der technischen Infrastruktur innerhalb der Museen und kulturellen Einrichtungen gibt es einige Faktoren, die sich auf die Nutzung und den Einsatz digitaler Systeme auswirken. Zunächst hat sich gezeigt, dass viele Museen in Lübeck ihren Besucher:innen zum Zeitpunkt, in dem die Fallstudien stattgefunden haben, noch kein kostenfreies WLAN zur Verfügung gestellt haben. Im Rahmen der Fallstudien wurde in den Museen deshalb jeweils ein WLAN über einen mobilen Hotspot eingerichtet, der für die Verwendung der ALS-Systeme eingesetzt wurde. Die Einrichtung des WLANs im Museum für Natur und Umwelt war besonders wichtig für den Einsatz von InfoGrid, da der Empfang von mobilen Daten durch die Gebäudebeschaffenheit sehr eingeschränkt war. Bei der Einrichtung des NEMO-Servers in den Museen hat sich gezeigt, dass die Lübecker Museen mit einem speziellen internen Netz verbunden sind, über die keine Server betrieben werden können, die Daten für das allgemeine Internet bereitstellen. Als Lösung für dieses Problem wurden die NEMO-Server in den Museen ebenfalls über den LTE-Hotspot mit dem öffentlichen Internet verbunden. Über alle Fallstudien hinweg hat sich InfoGrid als positive Bereicherung sowohl in Museen als auch in Schulen dargestellt.

11 Diskussion

Diese Arbeit befasst sich mit der Fragestellung, wie ein Autorensystem für AR-Inhalte einer AR-App gestaltet werden kann, sodass virtuelle Inhalte ohne Programmierkenntnisse dynamisch erstellt, bearbeitet, erweitert und in die physische Umgebung eingebunden werden können. Dabei wurden insbesondere die Kontexte von Stadt, Museen und Archiven untersucht, da sich dieser Forschungskontext sehr gut mit der Forschung zu pädagogischen Fragestellungen sowie zur Forschung zum Thema der semantischen Modellierung verbinden lässt. Diese Forschungsbereiche werden von den weiteren wissenschaftlichen Mitarbeitern, welche im ALS-Projektrahmen forschen, bearbeitet. Die zentrale Fragestellung wird mit der weiteren Fragestellung kombiniert, welche Funktionen des Autorensystems von Kurator:innen ohne technische Unterstützung nutzbar sind und bei welchen Funktionen sie zusätzliche Unterstützung durch Medienfachleute oder Software-Entwickler benötigen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden darüber hinaus weitere sekundäre Fragestellungen untersucht, die sich mit der Platzierung von AR-Inhalten und der Visualisierung von Nutzungsdaten befassen.

11.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dem Themenbereich Augmented Reality (AR) gibt es bereits viel Forschung zu den technischen Grundlagen wie beispielsweise den möglichen Tracking-Verfahren sowie zu der Qualität des Lernens, welches durch AR-Systeme beeinflusst werden kann. Jedoch gibt es wenig Forschung zu AR-Autorensystemen, welche in Kombination mit angepassten Werkzeugen zur Medienerzeugung erforscht wurden. Diese Arbeit hat sich mit dem Themengebiet befasst und zwei primäre und zwei sekundäre Forschungsfragen untersucht. Diese Forschungsfragen werden im Folgenden vorgestellt und diskutiert.

1. „Wie kann ein Autorensystem für AR-Inhalte gestaltet werden, sodass virtuelle Inhalte ohne Programmierkenntnisse dynamisch erstellt, bearbeitet, erweitert und in die physische Umgebung eingebunden werden können?“

Um diese Frage zu beantworten, wurden gemeinsam mit den Partnermuseen des ALS-Projektes AR-Touren konzipiert, welche in der ersten Fassung vollständig von Projektmitarbeitern in

einer statischen App umgesetzt wurden. In dieser Version wurden alle Medien in der App hinterlegt und es gab keine Schnittstelle für die Erweiterung oder Veränderung der Inhalte. Aufbauend darauf wurden die Anforderungen für das dynamische Autorensystem abgeleitet. Zusätzlich zu den Anforderungen der Partnermuseen wurden die Ergebnisse zweier Studien mit Museen aus Deutschland einbezogen, die unter anderem Fragen zur Besucherforschung, Besucherführung und zum Thema AR umfasst haben. Außerdem wurden die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu bestehenden AR-Autorenlösungen berücksichtigt, welche einen Überblick über die Funktionen geboten haben, welche bereits in anderen Forschungsarbeiten untersucht wurden. Mit den gesammelten Ergebnissen wurden die Konzepte für das AR-Autorensystem in Kontext von ALS gemeinsam mit den weiteren Wissenschaftlern des ALS-Projektes diskutiert und ausgearbeitet. InfoGrid wurde in Verbindung mit NEMO komponentenweise entwickelt. Viele Komponenten entstanden in Qualifizierungsarbeiten, welche durch den Autor dieser Arbeit betreut wurden. Teilweise wurden die Komponenten bereits im Rahmen der Qualifizierungsarbeiten in das Gesamtsystem integriert, teilweise wurde dies aber auch von dem Autor dieser Arbeit oder von den weiteren wissenschaftlichen Mitarbeitern des ALS-Projektes übernommen. Insgesamt wurde auf diese Weise die ALS-Anwendung InfoGrid entwickelt, welche es ermöglicht, AR-Touren ohne Programmierkenntnisse erstellen, bearbeiten und erweitern zu können. Über die zusätzlich erforschten und implementierten ALS-Werkzeuge ist es außerdem möglich Bilder, Videos und 3D-Objekte web-basiert über das ALS-Portal zu erstellen, zu bearbeiten und mittels InfoGrid in die physische Umgebung einzubinden.

2. Welche Funktionen des Autorensystems sind von Kurator:innen ohne technische Unterstützung nutzbar? Bei welchen Funktionen benötigen sie Unterstützung durch Medienfachleute oder auch Software-Entwickler?

Während der Entwicklung der einzelnen Komponenten wurden diese jeweils in Studien evaluiert und auf die Gebrauchstauglichkeit hin untersucht. Bei den Evaluationen der Komponenten wurden Kurator:innen jeweils einbezogen. Die Evaluationen haben ergeben, dass die Kurator:innen mit einer durchschnittlichen Technikaffinität alle Anwendungen mit schriftlichen Anleitungen selbstständig nutzen können. Die Aufgabenbereiche, die sie nicht umsetzen konnten, sind die grundsätzliche Einrichtung des ALS-Systems und dem Aufbau der Infrastruktur sowie die Erstellung von 3D-Objekten und AssetCollections.

3. Welche Interaktionsformen haben die höchste Gebrauchstauglichkeit bei der Positionierung von interaktiven AR-Elementen?

Außerdem wurde der weiteren Forschungsfrage nachgegangen, welche Interaktionsformen die höchste Gebrauchstauglichkeit bei der Positionierung von interaktiven AR-Elementen haben. Dabei wurden Eingabemethoden auf der Datenbrille Google Glass sowie auf einem Smartphone im Rahmen einer Studie verglichen. Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass die Interaktionsmethoden auf dem Smartphone gegenüber den Interaktionsmethoden auf der untersuchten Datenbrille eine höhere Gebrauchstauglichkeit aufwiesen.

Außerdem wurde vom Autor dieser Arbeit die Konzeption und Entwicklung der Komponente von InfoGrid betreut, mit der 3D-Inhalte im physischen Raum mit einem Smartphone positioniert werden können. Hierbei wurde ein gebrauchstaugliches Werkzeug entwickelt, welches als Bestandteil von InfoGrid das Ausrichten und Skalieren von AR-Elementen in Bezug zu der physischen Umgebung ermöglicht.

4. Welche Anforderungen gibt es aus der Sicht von Kurator:innen an ein Visualisierungssystem für Besucherdaten?

Außerdem wurde der Frage nachgegangen, welche Anforderungen es aus der Sicht von Kurator:innen an ein Visualisierungssystem für Besucherdaten gibt. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Rückmeldungen einer Museumsstudie sowie von Befragungen von den Partnermuseen herangezogen. Diese Ergebnisse wurden im ALS-Team diskutiert und als Grundlage für die Ausarbeitung von zwei nacheinander gelagerten Qualifizierungsarbeiten genutzt. Im Rahmen dieser Qualifizierungsarbeiten, welche vom Autor dieser Arbeit betreut wurden, wurden Systeme zur Nutzungsdatenvisualisierung implementiert und evaluiert. Das Backend zu diesen Systemen innerhalb von NEMO und InfoGrid wurden vom Autor dieser Arbeit ausgearbeitet und den Studierenden bei der Ausarbeitung der Systeme bereitgestellt.

Das AR-Autorensystem hat sich in unterschiedlichen Fallstudien bewährt und ist in mehreren Ausstellungen der Partnermuseen über Jahre in verschiedenen Iterationen des Systems eingesetzt worden. Im Rahmen der Fallstudien wurden Rückmeldungen der Kurator:innen, Nutzer:innen sowie der Logdaten der App genutzt um Fehler zu beseitigen, sodass das System mit minimalem Wartungsaufwand fehlerfrei eingesetzt werden kann. Insgesamt hat sich das AR-Autorensystem in Verbindung mit den weiteren ALS-Frontend Anwendungen hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit, Stabilität und Akzeptanz als praktisch produktreif gezeigt.

11.2 Besonderheiten und Limitationen

In der Literatur wurde die Augmented Reality (AR)-Technologie bereits intensiv untersucht. Einige Forschungsarbeiten haben sich dabei auch mit dem Thema AR-Authoring befasst. Um einen Überblick über den Stand der Forschung zu erhalten, wurde im Rahmen einer Masterarbeit, welche vom Autor dieser Arbeit unterstützt wurde, eine umfassende Literaturrecherche zu den bereits existierenden AR-Autorensystemen durchgeführt. Die Ergebnisse der Recherche werden in Abschnitt 2.2.2 dieser Arbeit zusammenfassend vorgestellt. Die Literaturrecherche hat ebenfalls ergeben, dass zu dem Zeitpunkt der Studie keine AR-Autorensysteme existierten, mit denen sich die Fallstudien in den Museen und Schulen in dem vorgestellten Umfang umsetzen ließen. Damit wird in dieser Arbeit erstmalig ein Konzept sowie ein Prototyp eines vollumfänglichen AR-Autorensystems vorgestellt, mit dem AR-Touren ohne Programmierkenntnisse erzeugt werden können. Eine weitere Besonderheit dieser Arbeit liegt in der Umsetzung der unterschiedlichen Fallstudien, die insbesondere im Buddenbrookhaus Lübeck und im Museum für Natur und Umwelt Lübeck jeweils über mehrere Jahre hinweg von den Besuchern genutzt werden konnten. Eine weitere Besonderheit des Systems ist die Bereitstellung der Daten durch NEMO und die Verfügbarkeit der umfangreichen ALS-Werkzeuge VideoEdit, ImageEdit, 3D-Edit und NOC3D zur Medienproduktion durch Nutzer, die keine spezifische Medienproduzentenausbildung verfügen. Lediglich die Produktion von 3D-Modellen aus Bild- und Videoquellen bedurfte Unterstützung durch Grafikexperten.

Neben diesen Besonderheiten gibt es auch Limitationen der Ergebnisse dieser Arbeit, die im Folgenden vorgestellt werden. Zunächst ist die Stichprobengröße der Museumsmitarbeiter:innen, welche die AR-Elemente im Rahmen der Fallstudien erzeugt und platziert haben, sehr klein. Obwohl im Rahmen dieser Arbeit viele Fallstudien in Schulen und Museen durchgeführt wurden, sind weitere Teilnehmer:innen erforderlich um die Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems angemessen zu bewerten. Die geringe Anzahl der Teilnehmer:innen lässt sich dadurch begründen, dass die erstmalige Nutzung des Systems mit einer Einarbeitung und Lernphase verbunden ist, welche ein bestimmtes Maß an Zeit benötigt. Diese ist bei den Kurator:innen und Lehrer:innen jedoch meist sehr begrenzt. Außerdem ist die ALS-Plattform zunächst nur im Rahmen der Forschung regional bereitgestellt worden, wodurch das Zielpublikum zunächst recht begrenzt war. Um die Gebrauchstauglichkeit der einzelnen Komponenten und Werkzeuge festzustellen, wurden diese neben den Kurator:innen und Lehrer:innen daher mit zusätzlichen Teilnehmer:innen aus anderen Bereichen durchgeführt.

Eine weitere Limitation des AR-Autorensystems sind die technischen Gegebenheiten, welche in den Schulen und Museen vorliegen. Dazu zählen unter anderem die Verfügbarkeit eines Medienservers vor Ort, ein frei zugängliches WLAN sowie die Verfügbarkeit von LTE-Verbindungen innerhalb der Gebäude. Außerdem benötigen die Schulen und Museen PCs, welche eine Verbindung zu den ALS-Servern herstellen können. Eine weitere Limitation des InfoGrid App ist, dass sie auf dem Gerät der Nutzer:innen installiert werden muss. Dies kann bei manchen Personen durch den Aufwand des zusätzlichen Installationsprozesses oder eines begrenzten Speichers des Geräts verhindert werden. Um diesen Effekt zu minimieren, wurde InfoGrid bereits auf die Installationsgröße hin optimiert, welche aktuell ca. 30 MB beträgt. Dadurch wurde der Speicherbedarf reduziert und die benötigte Installationszeit verkürzt. Zukünftig wäre es interessant, die Umstellung von InfoGrid auf eine Web-AR Plattform zu erforschen, über welche die Installation entfällt und InfoGrid dann über den Webbrowser genutzt werden kann.

Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse über die Erstellung von 3D-Objekten haben gezeigt, dass der Prozess der Erstellung von 3D-Objekten mittels NOC3D für Kurator:innen derzeit zu komplex ist und technisch unterstützt werden muss. In diesem Kontext ist die Erforschung weiterer Systemkonzepte interessant, welche diesen Prozess weiter vereinfachen.

Eine weitere Limitation ist die Gebrauchstauglichkeit des Prozesses der Erzeugung von Targets. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Vuforia-Framework zur Darstellung von AR-Inhalten verwendet. Um das Framework nutzen zu können, ist es erforderlich, die Targets über den Target-Manager auf der Vuforia-Webseite zu nutzen. Da die Seite ausschließlich in englischer Sprache verfügbar ist und der Prozess aus mehreren Schritten besteht, hat es sich in den Fallstudien gezeigt, dass der Prozess für die Kurator:innen und Lehrer:innen nicht einfach zu verstehen ist. Um dem Problem entgegenzuwirken, wurde im Rahmen des ALS-Portals bereits ein bebildertes Tutorial bereitgestellt, das die einzelnen notwendigen Schritte erläutert. Anfang 2023 wurde von dem Hersteller jedoch bereits eine Schnittstelle bereitgestellt, über die sich dieser Prozess in das ALS-Portal übertragen lässt. Über die Umgestaltung des Prozesses kann die Erzeugung der AR-Targets in weniger Arbeitsschritten und innerhalb des ALS-Portals realisiert werden, was die Gebrauchstauglichkeit weiter erhöht.

12 Ausblick

Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit, ist die Erforschung des Einsatzes des ALS-Systems in weiteren Museen mit anderen Themenschwerpunkten interessant, da dadurch die Eigenschaft des Systems, dass es in beliebigen Museen genutzt werden kann, weiter untermauert werden kann.

Neben den bestehenden Autorenwerkzeugen ist die Erforschung weiterer gebrauchstauglicher Werkzeuge interessant, über die interaktive Szenen ohne Programmierkenntnisse umgesetzt werden können. Um festzustellen, welche Arten von Szenen benötigt werden, ist eine weitergehende Erforschung der Wünsche von Kurator:innen, der vorhandenen Materialien und der Besucherakzeptanz erforderlich.

Im Rahmen des ALS-Projektes wurde das Themengebiet der Narration bereits intensiv untersucht und in der aktuellen Version von InfoGrid nur in einer einfachen Form einer gerichteten Führung in Form eines Museumsguides umgesetzt. Eine weitergehende Integration der Forschungsergebnisse war nicht der Gegenstand dieser Forschungsarbeit. Sie würde jedoch die Möglichkeit für Museen eröffnen, Touren weiter zu individualisieren und die Inhalte genauer an die Interessen einzelner Besucher:innen anzupassen.

Im Kontext von Schulen sind weitergehende Studien interessant, bei denen der Einfluss auf das Lernen bei der Verwendung der Anwendungen untersucht wird.

Darüber hinaus ist eine weitergehende Erforschung der Möglichkeiten, welche durch AssetCollections gegeben sind, interessant. Eine mögliche Erweiterung der AssetCollections ist die Einbindung und Bereitstellung von Sensor- oder Internet of Things (IoT)-Daten. Diese Daten können dann für Visualisierungszwecke verwendet werden.

Bei den Arbeiten mit den Museen wurde diskutiert, dass es sehr bedeutend und wirkungsvoll ist, wenn Schulen und Museen auf Grundlage einer einheitlichen Systemplattform wie ALS zusammenarbeiten können. Dabei sind erste Ideen entstanden, bei denen die Schüler AR-Touren im Rahmen ihres Unterrichts mit museumsnahen Themen erstellen, die dann wiederum in dem entsprechenden Museum abgerufen werden können.

Aufbauend auf der Forschung zu dem Einsatz von AR im Museum können weitere Anwendungsfelder erforscht werden, um den Nutzen von dem AR-Autorensystem in anderen Kontexten zu untersuchen. Da die ALS-Umgebung es ermöglicht AR-Settings zeitsparend zu entwickeln ist beispielsweise eine Verwendung des Systems auch in anderen Forschungsprojekten interessant, da darüber Entwicklungszeit eingespart werden kann. Weitere Einsatzbereiche sind in vielen Bereichen möglich. Beispielsweise ist der Einsatz der ALS-Umgebung im Bereich der Ausbildung in Unternehmen, der Einrichtung von Kunstinstallationen, der Architektur, der öffentlichen Verwaltung und vielen weiteren Bereichen möglich. Außerdem kann das System zur weitergehenden Untersuchung der Qualität der Wissensvermittlung mit AR eingesetzt werden.

Abbildungen

Abbildung 1: Verteilung der Museen nach Museumsarten in Prozent im Jahr 2019	13
Abbildung 2: Funktionsschema mit den jeweiligen Fachbereichen im Museum	14
Abbildung 3: Reality-Virtuality (RV) Continuum	22
Abbildung 4: Kategorisierung von AR-Autorensystemen in vier Stufen	28
Abbildung 5: Antworten der Teilnehmer:innen zu der Frage, wie groß sie Ihr Museum einschätzen..	35
Abbildung 6: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, in welchen Themenbereich das Museum einzuordnen ist.....	36
Abbildung 7: Rückmeldungen zu der Frage, wie oft sich die Teilnehmer:innen während der Arbeit damit befassen, Konzepte für Ausstellungen zu entwickeln.....	37
Abbildung 8: Rückmeldungen zu der Frage, wie oft sich die Teilnehmer:innen während der Arbeit damit befassen, Ausstellungen optisch zu gestalten	38
Abbildung 9: Rückmeldungen zu den Fragen, wie die Teilnehmer:innen ihre generelle Erfahrung mit Smartphones, Tablets und Datenbrillen einschätzen.	39
Abbildung 10: Rückmeldungen zu den Fragen, wie die Teilnehmer:innen ihre generelle Erfahrung mit 3D-Software.....	39
Abbildung 11: Rückmeldungen zu den Fragen, welche Technik den Teilnehmer:innen bei der Arbeit zur Verfügung steht.....	40
Abbildung 12: Rückmeldungen zu den Fragen, wie sehr die Teilnehmer:innen den Einsatz digitaler Technologien bzw. die Integration von AR in Ausstellungen für sinnvoll halten	41
Abbildung 13: Rückmeldung zu der Frage, ob in der Einrichtung, in der die Teilnehmer:innen beschäftigt sind, AR in der Ausstellung genutzt wird.....	44
Abbildung 14: Rückmeldung der Teilnehmer:innen zu der Frage, wie in der Einrichtung, in der sie beschäftigt sind, Evaluationsdaten gesammelt werden.....	45

Abbildung 15: Antworten zu der Frage nach der Bewertung unterschiedlicher Funktionen einer Evaluationssoftware.....	47
Abbildung 16: Antworten der Teilnehmer:innen zu Fragen im Themenbereich Augmented Reality.	49
Abbildung 17: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu den fünf Fragen, wie die Besucher:innen aktuell durch die Ausstellung/en in dem Museum geführt werden.	51
Abbildung 18: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, welche Technologien sie ihren Besuchern anbieten.	52
Abbildung 19: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu Fragen zur Mehrsprachigkeit.....	53
Abbildung 20: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, in welcher Sprache die meisten Ausstellungsstücke ausgestellt sind.....	54
Abbildung 21: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, aus welchem Land die meisten ausländischen Besucher:innen stammen.....	55
Abbildung 22: Rückmeldungen der Teilnehmer:innen zu der Frage, wer normalerweise die Inhalte des Museums übersetzt	55
Abbildung 23: Schalenmodell von allgegenwärtigen Medien, welche in ALS genutzt werden..	59
Abbildung 24: Standortbezogene und ortsunabhängige ALS-Anwendungen	59
Abbildung 25: Bildschirmfotos der mobilen ALS-Anwendung MoLES.....	61
Abbildung 26: Ein Bildschirmfoto der IW-Darstellung, welche in der Hanse-Schule Lübeck im Foyer dargestellt wird.	62
Abbildung 27: Ein Bildschirmfoto der IW-Darstellung, welche im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt in Lübeck dargestellt wird.	62
Abbildung 28: Die MediaGallery für Kollektionen an Medien auf der IW, welche in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt in Lübeck aufgebaut wurde.	63
Abbildung 29: Die TimeLine ermöglicht es zeitliche Abläufe darzustellen, welche die Verläufe der Geschichte darstellen.	64
Abbildung 30: SemCor ermöglicht das Studieren von Ontologie-basierten semantischen Verbindungen.	65

Abbildung 31: Die ALS-Systemarchitektur. NEMO ist zentraler Verbindungspunkt zwischen der ALS-Verwaltung und den ALS-Werkzeugen sowie den ALS-Frontend-Anwendungen.	67
Abbildung 32: Ebenen der NEMO-Dienste.	68
Abbildung 33: Überblick über die Struktur des AR-Autorensystems.....	72
Abbildung 34: Hierarchischen Aufgabenanalyse (HTA) der Erstellung einer InfoGrid Tour.	73
Abbildung 35: HTA der Erstellung einer Target-Datenbank aus Fotos von real-physischen Orten.	75
Abbildung 36: HTA der Einrichtung einer Karte zur Besucherführung mit InfoGrid.....	80
Abbildung 37: VideoEdit Systemarchitektur	84
Abbildung 38: Bildschirmfoto von VideoEdit bei der Erzeugung eines neuen Videoprojektes, welches aus einer Kombination aus Video, Bild und Text besteht.	85
Abbildung 39: (Links) mobiler Upload von VideoEdit. Dateien können in das VideoEdit Projekt von jedem Mobilgerät hochgeladen werden.	85
Abbildung 40: VideoEdit Schaltflächen: (a-e) Optionsmenü, (f-h) Menü zum Start des Rendering-Prozesses und Download des fertigen Videos.....	86
Abbildung 41: ImageEdit Systemarchitektur.....	91
Abbildung 42: Bildschirmfoto von ImageEdit bei der Bearbeitung eines Bildes, welches als Target für InfoGrid eingesetzt werden soll.	92
Abbildung 43: Ablauf des NOC3D Algorithmus.	95
Abbildung 44: Bildschirmfoto eines 3D-Objektes, das mit NOC3D aus 225 Bildern, welche aus einer Videodatei extrahiert wurden, in einem automatisierten Prozess rekonstruiert wurde.	96
Abbildung 45: (Links) Bildschirmfoto des Neuausrichtungsmodus für 3D-Objekte. (Rechts) Bildschirmfoto des Modus zum Ausschneiden des 3D-Objektes	99
Abbildung 46: Darstellung des Zusammenhangs von InfoGrid und NEMO.	102
Abbildung 47: Das Add-in Fenster des AssetCollection Creators innerhalb der Unity-Entwicklungsumgebung.....	103
Abbildung 48: Visuelle Darstellung des Ablaufs der Nutzung von InfoGrid.	108
Abbildung 49: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Download Seite im App Store. (Rechts) Menü zur Auswahl der Sprache.	109

Abbildung 50: Bildschirmfotos der Drei Onboarding-Dialoge innerhalb von InfoGrid.....	110
Abbildung 51: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Dialogfeld zur Auswahl der Institution. (Rechts) Dialogfeld zur Auswahl der Tour.....	111
Abbildung 52: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Dialogfeld zur Einführung der Museumsbesucher:innen in die Tour des Museums für Natur und Umwelt.....	112
Abbildung 53: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Darstellung eines Video-Overlays auf einem Hintergrund im Museum für Natur und Umwelt.....	113
Abbildung 54: Bildschirmfotos von InfoGrid. (Links) Darstellung eines 3D-Objektes als AR- Overlay. (Rechts) Darstellung eines Touch-Bereiches als AR-Overlay	116
Abbildung 55: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Touch-Bereiches als AR- Overlay, über den ein Video durch eine Touch-Geste aufgerufen werden kann.	117
Abbildung 56: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Overlay-Videos in Bezug zu einem Target.	118
Abbildung 57: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Videos in einem Vollbild Videoplayer.	118
Abbildung 58: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Audio-Players im Vollbildmodus bei der Wiedergabe einer Audiospur.....	119
Abbildung 59: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung einer AssetCollection in Bezug zu einem Target.	119
Abbildung 60: Bildschirmfoto von InfoGrid. Darstellung eines Bildschirmfotos einer AssetCollection, welche ein Walpuzzle enthält.	120
Abbildung 61: (Links) Smartphone Ansicht von InfoGrid mit aktiviertem Translations-Modus. (Rechts) Smartphone Ansicht von InfoGrid mit aktiviertem Rotations-Modus.	122
Abbildung 62: Funktionen des Objekt-Manipulations-Interface in InfoGrid.	124
Abbildung 63: (Links) Probandin, die ein virtuelles Objekt mittels Eingaben auf einer Smartwatch (links) und auf virtuellen Schaltflächen (rechts) manipuliert.....	127
Abbildung 64: Der Menübutton zum Aufrufen der Karte in InfoGrid.....	129
Abbildung 65: Bildschirmfotos des Kartensystems in InfoGrid.	130
Abbildung 66: Element einer InfoGrid-Tour als visuell aufbereitete JSON-Darstellung.....	133

Abbildung 67: PoiProperties eines Targets innerhalb einer Tour als visuell aufbereitete JSON-Darstellung.	134
Abbildung 68: Datenbankmodell der InfoGrid-Tour Datenbank.....	135
Abbildung 69: Datenbankmodell der InfoGrid Datenbank	136
Abbildung 70: Datenbankmodell der Log-Datenbank.	136
Abbildung 71: Datenbankmodell des Führungssystems.	137
Abbildung 72: Unterer Abschnitt des InfoGrid Posters mit Informationen zu dem verfügbaren WLAN und dem QR-Code von InfoGrid im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck.	142
Abbildung 73: Bildschirmfoto des MediaManagers im ALS-Portal, indem alle verfügbaren Medien aufgelistet werden und die Möglichkeit zum Hochladen weiterer Medien besteht.	143
Abbildung 74: Bildschirmfoto von VideoEdit das die Produktion eines Videos der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses darstellt.	144
Abbildung 75: Bildschirmfoto von ImageEidt über das ein Target der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses zugeschnitten wird.	145
Abbildung 76: Bildschirmfoto von dem Import-Dialog für die Medien, welche von NOC3D in ein 3D-Objekt konvertiert werden sollen.	147
Abbildung 77: Bildschirmfoto von 3DEdit im ALS-Portal.	148
Abbildung 78: Das Unity Add-on zur Erzeugung von AssetCollections.....	149
Abbildung 79: Bildschirmfoto des Dialogs zur Erzeugung einer InfoGrid AR-Tour im ALS-Portal.	150
Abbildung 80: Bildschirmfoto von der Bearbeitung der Inhalte der AR-Tour im ALS-Portal.	151
Abbildung 81: Screenshot des ALS-Portals bei der Einrichtung eine geführten AR-Tour im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck.	152
Abbildung 82: Icon, welches im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt verwendet wird.	153
Abbildung 83: Darstellung des Visualisierungsinterface.....	159
Abbildung 84: Darstellung der Besucherpfade der Tour „Geschichten aus der Sammlung“ des Buddenbrookhauses in einer Kartenansicht mit aktivierter Heatmap.	160
Abbildung 85: Digitaler Bilderrahmen im Museum für Natur und Umwelt, welcher ein Video der Nutzung von InfoGrid über ein tonloses Video in einer Dauerschleife zeigt.	163

Abbildung 86: Grundriss des Museums für Natur und Umwelt mit markierten Orten, an denen AR-Stationen in der Ausstellung eingerichtet wurden.....	163
Abbildung 87: (Links) Kartenansicht des Museums für Natur und Umwelt innerhalb von InfoGrid.	164
Abbildung 88: Die geologische Karte Nordeuropas im Museum für Natur und Umwelt.....	165
Abbildung 89: Nachbildung des Brodtener Ufers bei Travemünde im Museum für Natur und Umwelt.	165
Abbildung 90: Landschaftsrekonstruktion im Museum für Natur und Umwelt.	166
Abbildung 91: Nachbildung der Grabungsstelle von Groß Pampau im Musuem für Natur und Umwelt.	166
Abbildung 92: Grabungsschild in dem Ausstellungsbereich von Groß Pampau im Museum für Natur und Umelt.	167
Abbildung 93: Bild in einem Zeitungsartikel im Museum für Natur und Umwelt. InfoGrid zeigt ein Overlay-Video über die Funde von Fossilien in der Grabungsstelle in Groß Pampau.	168
Abbildung 94: Kieferspange eines Bartenwals im Museum für Natur und Umwelt.	168
Abbildung 95: Vitrine mit Knochen eines Miozän-Delfins	169
Abbildung 96: Vitrine im Museum für Natur und Umwelt, in denen Rippenfragmente eines Wals in einer nachgestellten Szene ausgestellt werden.	170
Abbildung 97: Dinosaurier Ei, welches im Museum für Natur und Umwelt ausgestellt wird. .	171
Abbildung 98: Anonyme Logdaten der Besucher- und Interaktionszahlen der AR-Tour „Steine Erzählen“ im Museum für Natur und Umwelt in Lübeck.....	172
Abbildung 99: Links: InfoGrid stellt das 3D-Modell der rekonstruierten Skulptur „der Butt“ von Günter Grass dar.	173
Abbildung 100: Ausstellung von Postern im Hörsaal des ZKFL zur Museumsnacht 2016, welche die Projekte der Stipendiat:innen des ZKFL darstellen.	175
Abbildung 101: Foto von der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt.	176
Abbildung 102: Digitaler Bildschirm in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt in Lübeck..	177

Abbildung 103: Das InfoGrid-Target für das 3D-Hausmodell, welches in der Interimsausstellung des Buddenbrookhauses ausgestellt wurde.....	178
Abbildung 104: Darstellung von vier AssetCollections in der Ausstellung des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt.	179
Abbildung 105: Anonyme Logdaten der Besucher- und Interaktionszahlen der AR-Tour „Geschichten aus der Sammlung“ im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt..	180
Abbildung 106: Visuelle Auswertung der Logdaten des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt mit sichtbaren Besucherpfaden und einer Heatmap.....	181
Abbildung 107: Besucher:innen konnten, an einem Aufsteller im Buddenbrookhaus am Rathausmarkt, ein Feedback in Form eines Notizzettels hinterlassen.	182
Abbildung 108: Fensterbilder von außen am Infozentrum des Buddenbrookhauses am Rathausmarkt.	183
Abbildung 109: Im Introvideo der AR-Tour Mapping Places wird eine Karte von Lübeck gezeigt, auf der die Orte, an denen die Targets zu finden sind, beschrieben wird.....	184
Abbildung 110: Fünf Targets der AR-Tour Mapping Places.....	184
Abbildung 111: Illustration der Nutzung der AR-Tour „Bienen“ im Lübecker Schulgarten. ...	185
Abbildung 112: InfoGrid Bildschirmfoto der AR-Tour zu Vorstellung des Leitungsteams der Hanse-Schule.	186
Abbildung 113: InfoGrid Bildschirmfoto der AR-Tour der Dorothea-Schlötzer-Schule.....	187
Abbildung 114: Werbeflyer für die AR-Tour der Dorothea-Schlötzer-Schule.....	188

Tabellen

Tabelle 1: Hierarchie von AR-Entwicklungswerkzeugen von sehr komplexen Werkzeugen zu wenig komplexen Werkzeugen nach Billinghurst (2015).....	24
Tabelle 2: Übersicht über die unterschiedlichen Arten an AR-Overlays, welche von InfoGrid bereitgestellt und bei der Erstellung von AR-Touren verwendet werden.	115
Tabelle 3: Übersicht über die gemessene Gebrauchstauglichkeit (N=32) der unterschiedlichen Interaktionsmethoden.	127
Tabelle 4: Übersicht über die im Rahmen der Arbeit vorgestellten Fallstudien, in denen InfoGrid eingesetzt wurde, in den Lübecker Museen, Kultureinrichtungen und Schulen.	189

Quellen

- Akyildiz, D., Beerepoot, N., Piskorski, T., & Sura, S. (2018). *Erstellung eines webbasierten Videoschnitt- und Animationsmoduls*. IMIS, Universität zu Lübeck, Projektbericht (unveröffentlicht).
- Annett, J., & Duncan, K. D. (1967). Task analysis and training design. *Journal of Occupational Psychology*, 41, 211–221.
- Arnold, R. (2011). *Assisted Learning: A Workbook*. Landau: Bildungstransfer Verlag.
- Aukstakalnis, S. (2016). *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR*. Addison-Wesley.
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *J. Usability Studies*, 4(3), 114–123.
- Berg, C. (2021). *Wie definieren sich Museen im 21. Jahrhundert?* Abgerufen am 16.09.21 von <https://icom-deutschland.de/de/component/content/article/31-museumsdefinition/312-pressemitteilung-wie-definieren-sich-museen-im-21-jahrhundert.html?Itemid=114>.
- Berger, C., & Gerke, M. (2022). Comparison of Selected Augmented Reality Frameworks for Integration in Geographic Citizen Science Projects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B4-2022, 223–230.
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 8(2–3), 73–272.
- Bouck-Standen, D., Ohlei, A., Daibert, V., Winkler, T., & Herczeg, M. (2017). NEMO Converter 3D: Reconstruction of 3D Objects from Photo and Video Footage for Ambient Learning Spaces. *AMBIENT 2017; The Seventh International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies*, IARIA, 6-11.
- Bouck-Standen, D., Ohlei, A., Höffler, S., Daibert, V., Winkler, T., & Herczeg, M. (2018).

- Reconstruction and Web-based Editing of 3D Objects from Photo and Video Footage for Ambient Learning Spaces. *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, 11, 91–104.
- Bouck-Standen, D., Ohlei, A., Winkler, T., & Herczeg, M. (2018). An Approach to Auto-Enhance Semantic 3D Media for Ambient Learning Spaces. In J. Kropf & L. Berntzen (Eds.), *AMBIENT 2018 - The Eighth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies*. IARIA.
- Bremische Bürgerschaft. (2017). *Bremische Bürgerschaft würdigt Leben und Werk von Günter Grass*. Abgerufen am 06.12.17 von https://www.bremische-buergerschaft.de/index.php?id=35&L=0&tx_ttnews%5Btt_news%5D=956&cHash=7c3df7e0d8795bd72653a6f138f341a0.
- Brooke, J. (1996). *SUS-A quick and dirty usability scale*. *Usability evaluation in industry*. CRC Press, 189, 4-7.
- Budhiraja, R., Lee, G. A., & Billingham, M. (2013). Using a HHD with a HMD for mobile AR interaction. *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Adelaide, SA, Australia, 1-6.
- Bundt, L. (2018). *Manipulation virtueller Objekte auf Smartphones in AR-Umgebungen am Beispiel von Museumsausstellungen*. IMIS, Universität zu Lübeck, Bachelorarbeit (unveröffentlicht).
- Bunge, C. (2018). *InfoGrid: Visualisierung von Besucherdaten*. IMIS, Universität zu Lübeck, Bachelorarbeit (unveröffentlicht).
- Camarero, C., & Garrido, M. (2012). Fostering Innovation in Cultural Contexts Market Orientation, Service Orientation, and Innovations in Museums. *Journal of Service Research*, 15, 39–58.
- Chen, C., Zhu, H., Li, M., & You, S. (2018). A review of visual-inertial simultaneous localization and mapping from filtering-based and optimization-based perspectives. *Robotics*, 7(3), 1–20.
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., & Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool. In V. Scarano, R. De Chiara, & U. Erra (Eds.), *Eurographics Italian Chapter Conference*. The Eurographics Association, 129-136.
- Damala, A., Hornecker, E., van der Vaart, M., van Dijk, D., & Ruthven, I. (2016). The loupe:

- Tangible augmented reality for learning to look at ancient Greek art. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 16(5 Special Issue), 73–85.
- Deutscher Museumsbund. (2008). *Museumsberufe – Eine europäische Empfehlung*. Berlin: Deutscher Museumsbund e.V.
- Deutscher Museumsbund. (2019). *Professionell arbeiten im Museum*. Berlin: Deutscher Museumsbund e. V.
- Disterer, G., & Kleiner, C. (2013). BYOD Bring Your Own Device. *Procedia Technology*, 9, 43–53.
- Döhl, F., & Jürgens, D. (2021). *Kulturen im digitalen Wandel*. Die Beauftragte der Bundesregierung für Kultur und Medien (BKM).
- Engeström, Y. (2014). *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Everett, M., & Barrett, M. S. (2009). Investigating sustained visitor/museum relationships: Employing narrative research in the field of museum visitor studies. *Visitor Studies*, 12(1), 2–15.
- Foster, A., & Ford, N. (2003). Serendipity and Information Seeking: An Empirical Study. *Journal of Documentation*, 59(3), 321–340.
- Franke, T., Attig, C., & Wessel, D. (2019). A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 35(6), 456–467.
- Freyermuth, G. S., Gotto, L., & Wallensfels, F. (2013). *Serious Games, Exergames, Exerlearning. Zur Transmedialisierung und Gamification des Wissenstransfers*.
- Furukawa, Y., & Ponce, J. (2010). Accurate , Dense , and Robust Multiview Stereopsis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(8), 1362–1376.
- Guenther, S., Winkler, T., Ilgner, K., & Herczeg, M. (2008). Mobile Learning with Moles: A Case Study for Enriching Cognitive Learning by Collaborative Learning in Real World Contexts, In J. Luca & E. Weippl (Eds.), *Proceedings of ED-MEDIA 2008--World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, Vienna, Austria: AACE, 374-380.
- Heckbert, P. S. (1994). *Graphics Gems IV*. Boston: AP Professional.

- Herczeg, M. (2006). *Interaktionsdesign: Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Herczeg, M. (2018). *Software-Ergonomie - Theorien, Modelle und Kriterien für gebrauchstaugliche interaktive Computersysteme*. Berlin, De Gruyter Oldenbourg.
- Herczeg, M. (2021). *Education in the Digital Age: A Driving Force or a Lost Place - Post-Constructivist Digital Learning Through Ambient Learning Spaces*. *i-com*, 20(3), Berlin: De Gruyter. 263-277.
- Herczeg, M. (2022). Ambient Learning Spaces: Chances and Challenges of Interactive Knowledge Media Platforms for Schools and Museums. *ICERI2022 Proceedings*, 2378–2388.
- Herczeg, M. (2023). Ambient Learning Spaces: The Role of Distributed Knowledge Media Management Systems for Computer-Supported Teaching and Learning. *INTED2023 Proceedings*, 820–830.
- Herczeg, M., Ohlei, A., & Schumacher, T. (2020). Ambient Learning Spaces: Byod, Explore and Solve in Physical Contexts. *ICERI2020 Proceedings*, 7979–7989.
- Herczeg, M., Ohlei, A., & Schumacher, T. (2021). Ambient Learning Spaces: a Connecting Link Between Digital Technologies and Computer-Supported Pedagogy. *INTED2021 Proceedings*, 6011–6021.
- Herczeg, M., Ohlei, A., Schumacher, T., & Winkler, T. (2021). Ambient Learning Spaces: Systemic Learning in Physical-Digital Interactive Spaces. In *Algorithmic and Aesthetic Literacy. Emerging Transdisciplinary Explorations for the Digital Age*. Opladen ; Berlin ; Toronto : Verlag Barbara Budrich.
- Herczeg, M., Schumacher, T., & Ohlei, A. (2020). Ambient Learning Spaces: Discover, Explore and Understand Semantic Correlations. *ICERI2020 Proceedings*, 7990–7999.
- Herczeg, M., Winkler, T., & Ohlei, A. (2019). Ambient Learning Spaces for School Education. *ICERI2019 Proceedings*, 5116–5125.
- Hlaváč, V. (2022). *Center for Machine Perception Multi-view Reconstruction Software*. Abgerufen am 12.07.22 von http://cmp.felk.cvut.cz/new_pages/.
- Hornecker, E. (2016). The To-and-Fro of Sense Making: Supporting Users' Active Indexing in Museums. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 23, 1–48.
- Hürst, W., & Van Wezel, C. (2013). Gesture-based interaction via finger tracking for mobile

- augmented reality. *Multimedia Tools and Applications*, 62(1), 233–258.
- ICOM Internationaler Museumsrat. (2004). *Ethische Richtlinien für Museen von ICOM*. Abgerufen am 16.08.22 von http://www.icom-deutschland.de/client/media/364/icom_ethische_richtlinien_d_2010.pdf.
- Institut für Museumsforschung. (2022). *Museen in Deutschland*. Abgerufen am 07.09.22 von <https://isil.museum/index.php?t=isil>.
- ISO. (2020). *ISO 9241-110:2020(en) Ergonomics of human-system interaction — Part 110: Interaction principles*. Abgerufen am 17.03.23 von <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-110:ed-2:v1:en>.
- J. Davison, A., D. Reid, I., D. Molton, N., & Stasse, O. (2017). MonoSLAM: Real-Time Single Camera SLAM. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(6), 1052–1067.
- Jancosek, M., & Pajdla, T. (2011). Multi-View Reconstruction Preserving Weakly-Supported Surfaces. *CVPR 2011, Colorado Springs, CO, USA*, 3121–3128.
- Kearsley, G. (1982). Authoring systems in computer based education. *Communications of the ACM*, 25(7), 429–437.
- Kim, S., Lee, S., & Han, J. (2018). StretchArms: Promoting Stretching Exercise with a Smartwatch. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(3), 218–225.
- Kulturrat.de. (2021). *Kulturen im digitalen Wandel: Bund stellt Digitalisierungsstrategie vor*. Abgerufen am 23.07.22 von <https://www.kulturrat.de/presse/pressemitteilung/bund-stellt-digitalisierungsstrategie-vor/>.
- Kytö, M., Ens, B., Piumsomboon, T., Lee, G. A., & Billingham, M. (2018). Pinpointing: Precise Head- and Eye-Based Target Selection for Augmented Reality. *In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, Paper 81*, 1–14.
- Leong, T. W., Vetere, F., & Howard, S. (2005). The Serendipity Shuffle. *In Proceedings of the 17th Australia Conference on Computer-Human Interaction: Citizens Online: Considerations for Today and the Future (OZCHI '05). Computer-Human Interaction Special Interest Group (CHISIG) of Australia, Narrabundah, AUS*, 1–4.
- Lindemann, L. (2021). *Entwicklung eines Systems zur Erstellung von interaktiven Karten zur Unterstützung von AR-Anwendungen*. IMIS, Universität zu Lübeck, Bachelorarbeit

(unveröffentlicht).

- Lo Valvo, A., Croce, D., Garlisi, D., Giuliano, F., Giarré, L., & Tinnirello, I. (2021). A Navigation and Augmented Reality System for Visually Impaired People. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *21(9)*:3061.
- Lob, S., Cassens, J., Herczeg, M., & Stoddart, J. (2010). NEMO: The Network Environment for Multimedia Objects. In *Proceedings of the First International Conference on Intelligent Interactive Technologies and Multimedia (IITM '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 245–249.
- Locatis, C., & Carr, V. (1986). Authoring systems and assumptions about them. *The Journal of Biocommunication*, *13(2)*, 4–9.
- Lübecker Museen. (2018). *Pilotprojekt beendet: Digitale Erfassung der Völkerkundesammlung der Hansestadt Lübeck*. Abgerufen am 06.06.22 von <https://die-luebecker-museen.de/digitalisierung-voelkerkundesammlung>.
- Mann, S., Havens, J. C., Iorio, J., Yuan, Y., & Furness, T. (2002). All Reality: Values, taxonomy, and continuum, for Virtual, Augmented, eXtended/MiXed (X), Mediated (X,Y), and Multimeditated Reality/Intelligence. *Presented at the AWE 2018*, Santa Clara, CA, USA.
- Marzo, A., Bossavit, B., & Hachet, M. (2014). Combining multi-touch input and device movement for 3D manipulations in mobile augmented reality environments. *Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Spatial User Interaction - SUI '14*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 13–16.
- Melzer, A., Hadley, L., Glasemann, M., Werner, S., Winkler, T., & Herczeg, M. (2007). Using Iterative Design and Development for Mobile Learning Systems in School Projects. In *Proceedings of ICEC CELDA 2007*, 65–72.
- Menke, S. (2015). Dauerausstellungen in historischen Museen. In *In Die Erinnerung an Flucht und Vertreibung* (pp. 65–74). Leiden, Niederlande: Brill | Schöningh.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, *2351*, 282–292.
- Mossel, A., Venditti, B., & Kaufmann, H. (2013). 3DTouch and HOMER-S: Intuitive Manipulation Techniques for One-Handed Handheld Augmented Reality. *Proceedings of*

- the Virtual Reality International Conference: Laval Virtual*, 1–10.
- Müller, A. (2021). *ImageEdit: Entwicklung eines webbasierten Bildbearbeitungsprogramms für Museen und Schulen*. IMIS, Universität zu Lübeck, Bachelorarbeit (unveröffentlicht).
- Museum4punkt0.de. (2021). *Digitale Vermittlung im Verbund für alle*. Abgerufen am 08.09.22 von <https://www.museum4punkt0.de/>.
- Nilsson, S. (2007). Interaction Without Gesture or Speech -- A Gaze Controlled AR System. *17th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2007)*, Esbjerg, Denmark, 280–281.
- Ohlei, A., Bouck-Standen, D., Winkler, T., & Herczeg, M. (2018). InfoGrid: An Approach for Curators to Digitally Enrich their Exhibitions. In *Mensch und Computer 2018 - Workshopband*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Ohlei, A., Bouck-Standen, D., Winkler, T., Wittmer, J., & Herczeg, M. (2017). InfoGrid4Museum: Eine mediale Vermittlungsstrategie mittels Augmented Reality für Museen. In *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V.* Gesellschaft für Informatik.
- Ohlei, A., Bundt, L., Bouck-Standen, D., & Herczeg, M. (2019). Optimization of 3D Object Placement in Augmented Reality Settings in Museum Contexts. In *De Paolis, L., Bourdot, P. (eds) Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2019. Lecture Notes in Computer Science*.
- Ohlei, A., Schumacher, T., & Herczeg, M. (2020a). An Analytics System for the Evaluation of Interactions of Museum Visitors in Augmented Reality Tours. In *Hansen, C., Nürnberger, A. & Preim, B. (Hrsg.), Mensch und Computer 2020 - Workshopband*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Ohlei, A., Schumacher, T., & Herczeg, M. (2021). Videoedit: an Easy-To-Use Web-Based Video Creation Tool for the Classroom. *INTED2021 Proceedings*, 6076–6085.
- Ohlei, A., Schumacher, T., & Herczeg, M. (2020b). An Augmented Reality Tour Creator for Museums with Dynamic Asset Collections. In: *De Paolis, L., Bourdot, P. (Eds) Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2020. Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Cham. 15–31.
- Ohlei, A., Wessel, D., & Herczeg, M. (2019). Usability of Direct Manipulation Interaction Methods for Augmented Reality Environments Using Smartphones and Smartglasses. In:

- De Paolis, L., Bourdot, P. (Eds) *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2019. Lecture Notes in Computer Science, 11614 LNCS*, 84–98.
- Ohlei, A., Winkler, T., Wessel, D., & Herczeg, M. (2018). Evaluation of Direct Manipulation Methods in Augmented Reality Environments using Google Glass. *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Munich, Germany, 266-269.
- Parsons, D., & Adhikari, J. (2016). Bring Your Own Device to Secondary School: The Perceptions of Teachers, Students and Parents. *Electronic Journal of E-Learning, 14*, 67–81.
- Peres, S., Pham, T., & Phillips, R. (2013). Validation of the System Usability Scale (SUS). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 57*, 192–196.
- Piskorski, T. (2019). *Entwicklung eines Auswertungssystems für Besucherinteraktionen mit mobilen ARSystemen zur Ausstellungsplanung in Museen*. IMIS, Universität zu Lübeck, Bachelorarbeit (unveröffentlicht).
- Piumsomboon, T., Altimira, D., Kim, H., Clark, A., Lee, G., & Billingham, M. (2014). Grasp-Shell vs gesture-speech: A comparison of direct and indirect natural interaction techniques in augmented reality. *2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Munich, Germany, 73-82.
- Prümper, J., & Michael, A. (1993). Die Evaluation von Software auf Grundlage des Entwurfs zur internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241 Teil 10 als Beitrag zur partizipativen Systemgestaltung - ein Fallbeispiel. In K.-H. Rödiger (Ed.), *Software-Ergonomie '93. Berichte des German Chapter of the ACM. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden*.
- Rahemipour, P., & Grotz, K. (2021). Bd. 75 (2021): Zahlen und Materialien aus dem Institut für Museumsforschung. *Institut Für Museumsforschung*, Berlin.
- Reich, K. (2007). Interactive Constructivism in Education. *Education and Culture, 23*, 7–26.
- Scheer, S. (2020). *Erweiterung des mobilen Augmented-Reality-Systems „InfoGrid“ um Mehrsprachigkeit*. IMIS, Universität zu Lübeck, Bachelorarbeit (unveröffentlicht).
- Schumacher, T. (2019). *Klassifikation von Augmented RealityAutorensystemen und Ableitung und Realisierung eines gebrauchstauglichen Autorensystems für InfoGrid*. IMIS, Universität zu Lübeck, Masterarbeit (unveröffentlicht).
- Siebert, H. (2005). *Pädagogischer Konstruktivismus: lernzentrierte Pädagogik in Schule und*

Erwachsenenbildung. Beltz Verlag.

- Skowronski, M., Herzog, K., Wieland, J., Fink, D., Klinkhammer, D., Reiterer, H., Schlag, E., Köhne, E., Dresch, J., Konstandin, S., & Schulenburg, S. (2018). Hybride Exponate und deren Kontextualisierung im BLM Karlsruhe. *EVA Berlin 2018: Elektronische Medien & Kunst, Kultur Und Historie*.
- Stanton, N. A. (2006). Hierarchical task analysis: developments, applications, and extensions. *Applied Ergonomics*, 37 1, 55–79.
- StatCounter. (2023). *Mobile Operating System Market Share Worldwide*. Abgerufen am 19.02.23 von <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide/#monthly-200901-201806>.
- Vargas, J. C. G., Fabregat, R., Carrillo-Ramos, A., & Jové, T. (2020). Survey: Using augmented reality to improve learning motivation in cultural heritage studies. *Applied Sciences 2020 (Switzerland)*, 10(3), 897.
- Wegner, N. (2011). Besucherforschung und Evaluation in Museen: Forschungsstand, Befunde und Perspektiven. In P. Glogner-Pilz & P. S. Föhl (Hrsg.). In *Das Kulturpublikum* (pp. 127–181). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Weiser, M. (1991). The Computer for the Twenty-First Century. In *Scientific American* (pp. 94–104).
- Winkler, T., Bouck-standen, D., Ide, M., Ohlei, A., & Herczeg, M. (2017). InteractiveWall 3.1 - Formal and Non-Formal Learning at School with Web-3.0-based Technology in Front of Large Multi-touch Screens. In *In J. Johnston (Ed.), Proceedings of EdMedia + Innovate Learning 2017*. Waynesville, NC: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE) (pp. 1317–1326).
- Winkler, T., Cassens, J., Abraham, M., & Herczeg, M. (2010). Die Interactive School Wall – eine be-greifbare Schnittstelle zum Network Environment for Multimedia Objects. In: *Schroeder, U. (Hrsg.), Interaktive Kulturen: Workshop-Band: Proceedings Der Workshops Der Mensch & Computer 2010 - 10. Fachübergreifende Konferenz Für Interaktive Und Kooperative Medien, DeLFI 2010 - Die 8. E-Learning Fachtagung Informatik Der Gesel*, Berlin: Logos Verlag, 177-178.
- Winkler, T., & Herczeg, M. (2013). The Mobile Learning Exploration System (MoLES) in Semantically Modeled Ambient Learning Spaces. In *Proceedings of the 12th International*

- Conference on Interaction Design and Children (IDC '13)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 348–351.
- Winkler, T., Ide-Schoening, M., & Herczeg, M. (2008). Mobile Co-operative Game-based Learning with Moles: Time Travelers in Medieval Ages. *In Proc. of SITE 2008*, 3441–3449, AACE, 2008.
- Winkler, T., Ide, M., Hahn, C., & Herczeg, M. (2014). InteractiveSchoolWall: A Digitally Enriched Learning Environment for Systemic-Constructive Informal Learning Processes at School. In J. Viteli & M. Leikomaa (Eds.), *In J. Viteli & M. Leikomaa (Eds.), Proceedings of EdMedia + Innovate Learning 2014*. (pp. 2527–2537). Waynesville, NC: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Winkler, T., Ide, M., Herczeg, M., Hahn, C., & Herczeg, M. (2012). InteractiveSchoolWall: A Digital Enriched Learning Environment for Systemic-Constructive Informal Learning Processes. In *In P. Resta (Ed.), Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2012* (pp. 3133–3140). Waynesville, NC USA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Winkler, T., Ohlei, A., Ide, M., & Herczeg, M. (2019). Creating Augmented Realities in the Context of Lessons in Secondary Schools. In *In J. Theo Bastiaens (Ed.), Proceedings of EdMedia + Innovate Learning 2019* (pp. 230–247). Waynesville, NC: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Winkler, T., Scharf, F., Hahn, C., & Herczeg, M. (2011). Ambient Learning Spaces. In *In Méndez-Vilas, A (Ed.) Education in a Technological World: Communicating Current and Emerging Research and Technological Efforts*. (pp. 56–67). Badajoz, Spain: Formatex Research Center.
- Yue, C. Z., & Ping, S. (2017). Voice activated smart home design and implementation. *2017 2nd International Conference on Frontiers of Sensors Technologies (ICFST)*, Shenzhen, China, 489-492.
- ZAD. (2007). *Besucherforschung in öffentlichen deutschen Kulturinstitutionen*. Abgerufen am 16.08.22 von http://www.geisteswissenschaften.fu-berlin.de/v/zad/media/Besucherforschung_ZAD.pdf.

Anhang: Datenschutz

Datenschutzinformation für die Nutzung von InfoGrid⁴:

Umfang der Verarbeitung personenbezogener Daten

Bei der Nutzung von InfoGrid werden Smartphone- und abrufbezogene Informationen sowie Fehlerberichte anonymisiert erhoben. Die Anonymisierung erfolgt bei jedem Start von InfoGrid automatisch durch die Vergabe einer zufälligen Session-ID.

Zweck der Datenverarbeitung

Die Verarbeitung hat den Zweck, Ihnen die Nutzung von InfoGrid zu ermöglichen, Fehler- und Verfügbarkeitsanalysen durchzuführen und mögliche Angriffe abzuwehren.

Rechtsgrundlage für die Verarbeitung personenbezogener Daten

Die Rechtsgrundlage für die sofortige Anonymisierung Ihrer personenbezogenen Daten ist unser berechtigtes Interesse gemäß Art. 6 Abs. 1 lit. f DSGVO, welches sich aus dem beschriebenen Zweck ergibt.

Widerspruchsmöglichkeit

Sie haben das Recht, der Verarbeitung gemäß Art. 21 DSGVO zu widersprechen.

Empfänger

Ihre Daten werden nicht an Dritte übermittelt.

Dauer der Speicherung

Die Anonymisierung erfolgt sofort durch die Vergabe einer zufälligen Session-ID bei jedem Start von InfoGrid. Somit ist zu keinem Zeitpunkt ein Bezug zu Ihrer Person herstellbar.

Freiwilligkeit, Profiling

Ohne die Verarbeitung dieser Daten kann InfoGrid nicht genutzt werden. Es besteht keine automatisierte Entscheidungsfindung oder Profiling.

⁴ <https://www.imis.uni-luebeck.de/de/datenschutz/datenschutzinformation-infogrid>

Anhang: Ergebnisse der Online-Recherche zum AR-Einsatz in Museen

Auf den folgenden URLs wurden zum 19.01.2022 die Wörter „Augmented Reality“ bzw. „Augmented-Reality“ im HTML-Code der Seiten gefunden:

1. archlisa.de/de/oeffentlichkeitsarbeit/presseinformationen.html
2. blog.smb.museum/feed/index.html
3. <https://buddenbrookhaus.de/home/home2020>
4. clemens-sels-museum-neuss.de/ausstellungen/finde-deinen-zugang-von-digital-zum-original.html
5. die-sehenswerten-drei.de/besuchen-erleben/fuehrungen.html
6. dnstdm.de/en/category/blog/feed/index.html
7. dynamikum.de/medianews/dynamikum-2-0-neu-eroeffnung-am-19-mai/index.html
8. grass-haus.de/programm
9. industriemuseum.lvr.de/de/die_museen/st__antony/app_3/app_4.html
10. kunstmuseenkrefeld.de/de/Exhibitions/2019/Anders-Wohnen.html
11. kunstsammlungen-museen.augsburg.de/studierende.html
12. museumfrankfurt.senckenberg.de/de/aktionsplan-leibniz-forschungsmuseen/index.html
13. museum-kassel.de/de/museen-schloesser-parks/unesco-welterbe-bergpark-wilhelmshoehe/schloss-wilhelmshoehe/antikensammlung.html
14. www.juelich.de/zitadelle_digital.html
15. shmh.de/de/apps.html
16. universum-bremen.de/discover/index9ed2.html
17. wolfenbuettel.stiftung-ng.de/de/bildung-vermittlung/digitale-vermittlungsangebote/index.html
18. www.aeria.phil.uni-erlangen.de/projekte/2015_Pranu-Mannu/2015_Pranu-Mannu.html
19. www.archaeologisches-museum-frankfurt.de/de/forschung/metahub-frankfurt.html
20. www.bmw-welt.com/de/experience/exhibitions/future-forum.html
21. www.braunschweig.de/tourismus/index.html
22. www.burg-huelshoff.de/en/programm/archiv.html
23. www.dampflok-museum.de/aktuelles/archiv.html
24. www.deutsches-museum.de/forschung/forschungsinstitut/projekte-und-forschungsbereiche/sammlungsbezogene-forschung.html
25. www.dsm.museum/ausstellung/ausstellungen/360-polarstern.html
26. www.egerlandmuseum.de/cs/stala-expozice/aplikace-pro-muzeum.html
27. www.fasnachtsmuseum.de/author/Langen3ADM1n/feed/index.html
28. www.franziskanermuseum.de/aktuelles/ausstellungen.html
29. www.frauenindereinenwelt.de/de/DE_museum-und-ausstellungen/DE_Rueck-Blick-Nach-Vorne.html

30. www.gelnhausen.de/tourismus/gelnhausen-erleben/museen/museum-gelnhausen/fuehrungen-werkstaetten/index.html
31. www.hansemuseum.eu/feed/index.html
32. www.horst-janssen-museum.de/ausstellungen/archiv/index.html
33. www.klassik-stiftung.de/bildung/bildungsangebote/jugendliche-und-erwachsene/apps-und-medien/index.html
34. www.kunsthalle-karlsruhe.de/digital/index.html
35. www.kz-gedenkstaette-neuengamme.de/newsletter-november-2021/index.html
36. www.lwl-landesmuseum-herne.de/de/unsere-ausstellungen/dauerausstellung/index.html
37. www.museum-folkwang.de/de/ueber-uns/presse/pressemitteilungen/aktuelle-pressemitteilungen.html
38. www.neanderthal.de/de/start.html
39. www.rothenburgmuseum.de/feed/index.html
40. www.salzmuseum.de/index.php/serviceneu/apps-und-kanale-neu.html
41. www.smb.museum/museen-einrichtungen/antikensammlung/ueber-uns/nachrichten/index.html
42. www.stadtmuseum-oldenburg.de/aktuell/aktuelles/artikel/2021/11/04/stadtmuseum-bringt-smartphone-app-heraus.html
43. www.stasi-unterlagen-archiv.de/archiv/standorte/dresden/app-der-tu-dresden/index.html
44. www.stiftung-berliner-mauer.de/de/angebote/lehr-lernmaterialien.html
45. www.suedsauerlandmuseum.de/feed/index.html
46. www.technoseum.de/corona/index.html
47. www.uf.phil.fau.de/2021/03/index.html
48. www.villa-merkel.de/en/translate-to-englisch-home.html
49. www.visitberlin.de/de/berlin-bei-regen-fuer-kinder.html
50. www.weselmarketing.de/partner/themen/citymanagement/index.html
51. www.westoverledingen.de/freizeit/wunderline.html