

DOKUMENTATION PROJEKT II

ENTWICKLUNG

Digitales 3D-Feldbuch

vorgelegt an der TH Köln
Campus Gummersbach
im Studiengang
Medieninformatik Master

ausgearbeitet von:
OLIVER MERTENS (11119032)
TOBIAS MINK (11103405)
AILEEN JURKOSEK (11134311)
JULIAN HARDTUNG (11104591)
METHUSSHAN ELANKUMARAN (11131717)

Prüfer: Prof. Dr. Horst Stenzel

Gummersbach, 10. April 2024

Abstract

Die folgende Ausarbeitung dokumentiert das im *Projekt II – Entwicklung*, im Studiengang Medieninformatik Master, entwickelte System. Hierbei handelt es sich um das digitale 3D-Feldbuch, welches die digitale Dokumentation archäologischer Ausgrabungen ermöglichen soll. Das System wurde in Zusammenarbeit mit dem archäologischen Institut der Universität zu Köln entwickelt.

Das System ist in zwei Hauptkomponenten eingeteilt: Den Feldbuchanteil und den 3D-Bereich. Der Feldbuchteil dient zur textuellen Dokumentation während einer Ausgrabung. Nutzende können verschiedene Eingaben tätigen, Bilder einfügen und Inhalte als PDF exportieren. Im Fokus stand steht hierbei zudem die Umstellung der bestehenden Ergebnisse in das Stellenkartensystem, wodurch Ausgrabungen nun aufgeteilt in drei Kategorien, Aktivitäten, Stellen und Positionen dokumentiert werden. Eine Aktivität kann hierbei jegliche archäologische Maßnahme beschreiben, wohingegen eine Stelle Befunde, Arbeitsbereiche oder Verfärbungen innerhalb einer Aktivität bezeichnet. Weiterführend stellt eine Position die neutrale Ansprache für sämtliche Arbeitsschritte oder Erkenntnisse dar. Eine detailliertere Erläuterung des Stellenkartensystems befindet sich innerhalb von Kapitel 2.2. Im Zuge der weiteren Ausarbeitung des Systems werden zudem eine Internationalisierung, Auto-Fill-Funktionen sowie ein Light- und Darkmode umgesetzt.

Der 3D-Bereich erweitert den Feldbuchanteil um die Möglichkeit, 3D-Modelle einer Grabung einzubinden. Das ermöglicht es, ein Stellen- oder Positionsmodell darzustellen und diese zusätzlich in einer Szene zu bewegen, zu rotieren und zu skalieren. Neben diesen Funktionen ermöglichen verschiedene Tools zudem die Vermessung und Analyse der Modelle, sowie die Verfärbung, Filterung oder Verknüpfung mit textuellen Informationen aus dem Feldbuchbereich.

Im Zuge einer Exkursion in den archäologischen Park nach Xanten konnte das System in der Praxis erprobt und weiterentwickelt werden. Durch kontinuierliche Tests und Anpassungen wurde das System somit entsprechend an die Anforderungen der intendierten Nutzerschaft angepasst. So gelang es, trotz der vom *Projekt I – Konzept & Vision* vergleichsweise stark abweichenden Anforderungen, ein qualitativ hochwertiges System umsetzen zu können.

Arbeitsmatrix

Die folgende Arbeitsmatrix zeigt den Arbeitsaufwand der einzelnen Teammitglieder auf.

Teilnehmer	T. Mink	O. Mertens	J. Hardtung	A. Jurkosek	M. Elankumaran
Design	20%	60%	20%	0%	0%
Frontend	20%	40%	30%	0%	10%
Backend	10%	20%	70%	0%	0%
3D-Ansicht	80%	10%	10%	0%	0%
Dokumentation	6.66%	6.66%	6.66%	30%	50%

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Feldbuchanteil	2
2.1	Feldbuch-Struktur nach Abschluss von Projekt I	2
2.2	Erklärung des Stellenkartensystems	4
2.3	Beschreibung des Systemaufbaus und der Nutzung	5
2.4	Frameworks und Packages	8
2.5	Technische Umsetzung	9
3	3D-Ansicht	11
3.1	Überblick	11
3.2	Wahl des Frameworks zur Darstellung/Berechnung von 3D-Modellen	11
3.3	Erweiterbarkeit	11
3.4	Umsetzung und Aufbau der 3D-Umgebung	12
3.4.1	Laden von 3D-Modellen	14
3.4.2	Steuerung in der 3D-Umgebung	15
3.4.3	Umgesetzte Tools	16
3.4.4	Datenverwaltung und Speicherung	18
4	Datenbank	19
4.1	Umstieg auf IndexedDB	19
4.2	Online-Datenbank	20
5	Retrospektiver Vergleich mit Plänen aus Projekt I	21
5.1	Analyse der Basisanforderungen	21
5.2	Analyse der Leistungs-/Begeisterungsfaktoren	23
5.3	Analyse der Anforderungen aus dem Projekt Colonia MeshUp (Mink u. Kemper, 2022)	24
5.4	Tabellarische Visualisierung des Fortschritts in Projekt II	25
6	Exkursion LVR-Archäologischer Park Xanten	27
7	Fazit und Ausblick	29
	Abbildungsverzeichnis	31
	Tabellenverzeichnis	32
	Literaturverzeichnis	34

1 Einleitung

Im Zuge von *Projekt II – Entwicklung* im Medieninformatik Master im Sommersemester 2023 wurde in Kooperation mit dem archäologischen Institut der Universität zu Köln das digitale 3D-Feldbuch entwickelt und in der Praxis erprobt. Hierzu wurde anhand des im vorherigen Semester erarbeiteten Konzepts sowohl der Feldbuchanteil zur Dokumentation einer Grabung als auch der 3D-Bereich mit der Möglichkeit zur Darstellung und Manipulation von 3D-Modellen umgesetzt. Aufgrund neuer Anforderungen wurde das System außerdem an das Stellenkartensystem des LVR-Amts für Bodendenkmalpflege im Rheinland angepasst. Die 3D-Umgebung wurde so ausgearbeitet, dass 3D-Modelle geladen, im 3D-Raum bearbeitet und gefiltert werden können. Als weiteres essenzielles Feature werden 3D-Modelle mit den textuellen Feldbuchdaten verknüpft, sodass Modelle mit den jeweiligen textuellen Informationen angereichert werden können.

Das erstellte System wurde im Zuge einer Lehrgrabung im archäologischen Park in Xanten erprobt. Dabei konnten in der Praxis zum einen Fehler im System gefunden und anschließend beseitigt werden, zum anderen konnten schnell neue Anforderungen identifiziert werden, die dynamisch in das System integriert werden konnten.

2 Feldbuchanteil

Mit Inbezugnahme der Anforderungen des archäologischen Instituts wurde das System umgestaltet. Im Folgenden werden die Veränderungen am System erklärt. Zunächst wird auf die vorherige Feldbuchstruktur eingegangen. Dann wird das Stellenkartensystem erläutert, auf dem die veränderte Feldbuchstruktur basiert. Daraufhin wird beschrieben, wie das neue System benutzt werden kann und welche Features implementiert wurden. Im Anschluss werden die verwendeten Frameworks und Packages genannt und begründet, warum diese gewählt wurden. Zum Schluss findet eine technische Erklärung der Features statt.

2.1 Feldbuch-Struktur nach Abschluss von Projekt I

Im Zuge der bisherigen prototypischen Erarbeitungen im Projekt I und den anfänglichen Entwicklungen des Projekt II wurde der Feldbuchbereich in Projekte und Ausgrabung, sowie darin enthaltene Schnitte, Befunde, Funde und Proben unterteilt. Diese Aufteilung wurde aus den im Projekt I behandelten Vorgängerprojekten übernommen, da sie im Kontext sinnvoll erschien und zuvor als Anforderung genannt wurde. Ein Projekt beschreibt hierbei eine übergeordnete Einheit, der jeweils Grabungen zugeordnet werden können. Grabungen können weiterführend an mehreren Orten und zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt werden. Ein Schnitt bezeichnet das Weiteren Arbeiten in einem abgegrenzten Bereich innerhalb der Grabung. Innerhalb eines Schnittes können anschließend verschiedene Befunde, Funde und Proben zugeordnet werden, welche konkrete gefundene Artefakte detailliert beschreiben. Der Prototyp bestand hierbei primär aus den jeweiligen Gesamtübersichten der jeweiligen Komponenten (siehe Abbildung 1) und den jeweiligen Seiten zur Erstellung neuer Komponenten (siehe Abbildung 2).

Funde

Info Schnitte Befunde **Funde** Proben

Übersicht der Funde

Ausgewählter Schnitt: SE4343 **Ändern**

Neuer Fund

Funde mit fehlender Schnitzzuordnung:

Fundnr. 31 >

Fundnr. 32 >

Fundnr. 87 >

Fundliste des Schnitts

Fundnr. 21 A >

Fundnr. 21 B >

Fundnr. 54 >

Abbildung 1: Übersicht der Funde im Prototyp

← Neuen Fund erstellen

ALLGEMEINE DATEN Fundnummer *
Pflichtfeld

MESSPUNKTE Beschreibung

ABMESSUNGEN

INTERPRETATION

KALENDERDATEN

SPEICHERN Erhaltungszustand

ABBRECHEN Zugehörige Grabung *
Xanten 2019

OPTIONEN Zugehöriger Schnitt *
2019 / 12

Zugehöriger Befund *
Streufund

☐ Eingemessen

⚠ Bitte alle Pflichtfelder vor dem Speichern ausfüllen. Bitte Abmessungen (Länge/Breite) anfügen ❌

Abbildung 2: Erstellung eines Fundes im Prototyp

Hierbei wurden zudem die Designentscheidungen der jeweiligen Vorgängerprojekte übernommen, da die Darstellung alle Informationen übersichtlich wiedergibt. Zudem lenkt die Farbgebung nicht von den eigentlichen Funktionen des Systems ab und untermauert somit die eigentlichen Inhalte.

2.2 Erklärung des Stellenkartensystems

Bei Gesprächen mit dem archäologischen Institut der Universität Köln wurde eine neue Anforderung an das zu entwickelnde System gestellt. Der Feldbuchanteil des Projektes sollte an das Stellenkartensystem angepasst werden, welches vom LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland entwickelt wurde und bei der Exkursion in Xanten zum Einsatz kommt.

Beim Stellenkartensystem findet, im Gegensatz zum zuvor implementierten Dokumentationssystem, keine Unterteilung in Projekte, Ausgrabungen, Schnitte, Befunde, Funde und Proben statt. Stattdessen wird in Aktivitäten, und Stellen und Positionen unterteilt. Die folgenden Erklärungen zu Aktivitäten, Stellen und Positionen stammen dabei aus den Prospektions- und Grabungsrichtlinien für archäologische Maßnahmen des LVR-Amtes für Bodendenkmalpflege im Rheinland (LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland, 2020). Mithilfe dieser Notationsform ist es möglich, gefundene Artefakte präzise zu beschreiben und diese referenzieren zu können. Da es sich hierbei um eine standardisierte Notationsmethode handelt, wird hierdurch der Datenaustausch zwischen Experten und die Interpretation der jeweiligen Erkenntnisse vereinfacht.

Begriff	Definition
Aktivität	Eine archäologische Maßnahme. Wird identifiziert durch eine Aktivitätsnummer.
Aktivitätsnummer	Ein einzigartiger Index, um Aktivitäten eindeutig identifizierbar zu machen. Diese folgt folgender Struktur: Zweistelliges Kürzel für das Außenstellengebiet + Leerzeichen + vierstellige Jahreszahl + / + vierstellige Ziffernfolge.
Stelle	Neutrale Ansprache für alle Befunde, Verfärbungen oder auch Arbeitsbereiche einer Aktivität. Wird eindeutig identifiziert durch eine Stellennummer.
Stellennummer	Fortlaufende Nummerierung aller Stellen einer Aktivität
Position	Neutrale Ansprache für alle Arbeitsschritte und Erkenntnisse einer Stelle. Wird durch eine Positionsnummer identifiziert.
Positionsnummer	Fortlaufende Nummerierung aller Positionen einer Stelle. Durch Kombination aus Aktivitäts-, Stellen- und Positionsnummer werden Positionen eindeutig identifizierbar.

Tabelle 1: Definitionen von Begriffen im Stellenkartensystem

2.3 Beschreibung des Systemaufbaus und der Nutzung

Der Feldbuchaufbau hat sich im Laufe des Projektes geändert. Wie im Abschnitt *Erklärung des Stellenkartensystems* beschrieben, wird das System auf die Einteilung in Aktivität, Stelle und Position umgestellt. Eine Aktivität kann dabei mehrere Stellen beinhalten. Diese Stellen können wiederum mehrere Positionen enthalten. Dies war in der Anforderung L2 gefordert. Durch diese Abschnitte kann durch eine Leiste navigiert werden. Bei einem Knopfdruck auf den Knopf **Aktivität** öffnet sich die Übersichtsseite der Aktivitäten. Das System ist hierarchisch strukturiert, sodass nur Stellen und Positionen einer zugehörigen Aktivität angezeigt werden. Wird der Knopf **Stelle** angeklickt, werden nur Stellen angezeigt, welche zur zuletzt ausgewählten Aktivität gehören. Das Gleiche gilt für den Positionsknopf, wobei nur Positionen angezeigt werden, welche zur zuletzt ausgewählten Stelle gehören. Durch diese minimalistische UI soll die Anforderung B8 erfüllt werden, nach welcher die Benutzeroberfläche selbstbeschreibend sein soll.

Die Startseite des Systems bildet die Übersichtsseite der Aktivitäten (siehe Abbildung 3). Auf dieser Seite können neue Aktivitäten erstellt und bisherige Aktivitäten verändert oder gelöscht werden. Wird eine Aktivität erstellt, können die für die Aktivitätsnummer notwendigen Parameter eingetragen und gespeichert werden.

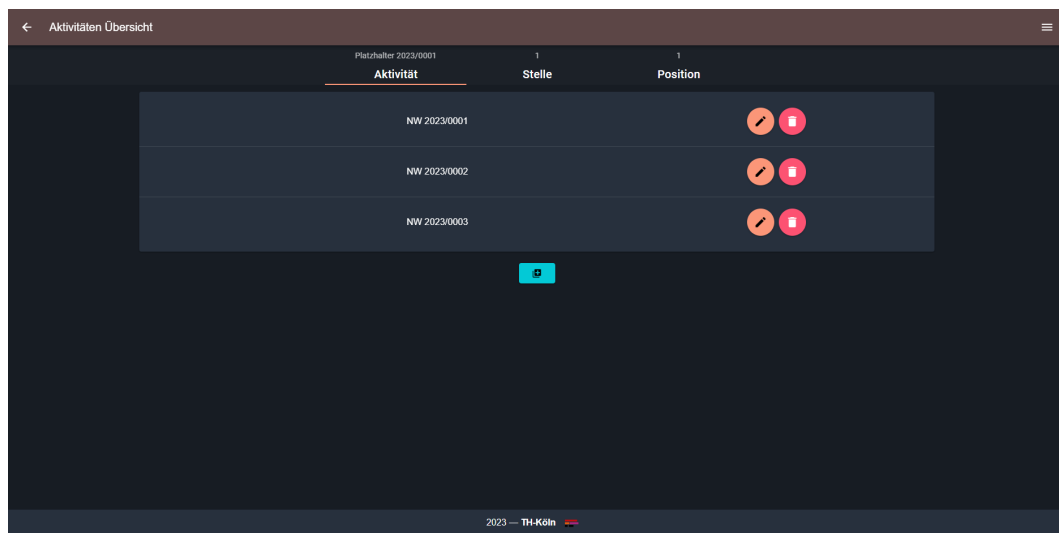


Abbildung 3: Übersichtsseite für Aktivitäten

Wird eine erstellte Aktivität angeklickt, öffnet sich eine Übersichtsseite mit den zur Aktivität gehörenden Stellen. In dieser werden alle Stellen mit ihrer Stellennummer, der Ansprache und dem Datum der Erstellung angezeigt. Durch einen Toggle-Button kann die Anzeige durch zusätzliche Informationen wie bspw. die geografischen Daten, die Sichtbarkeit, oder durch eine Beschreibung erweitert werden. In Anforderung C4 wurde nach Anpassungsoptionen bezüglich der UI gewünscht. Zudem kann durch ein Suchfeld eine Schlagwortsuche durchgeführt werden und Stellendokumentationen angezeigt werden, in

denen das gesuchte Wort enthalten ist. Durch die Exkursion und die Zusammenarbeit mit den Archäologinnen und Archäologen wurden zudem zwei weitere Anforderungen identifiziert. Diese waren eine Duplikationsfunktion und ein modularer Aufbau von Stellendokumentationen. Das Duplikationsfeature erlaubt es, existierende Stelleneinträge zu kopieren. Dies erleichtert den Workflow, weil ein neuer Eintrag mit minimalen Unterschieden zu einem existierenden Eintrag nicht komplett neu erstellt werden muss. Der Duplikationsmodus kann über einen Toggle-Button aktiviert werden. Um eine Stelle zu kopieren, muss diese im Duplikationsmodus angeklickt werden.

In der Anforderung B3 wurde beschrieben, dass das System die Möglichkeit bieten, muss Informationen zu einem angelegten Fund abzufragen und anzeigen zu können. Dies ist durch die Übersichts- und Bearbeitungsseiten des Systems möglich.

Beim modularen Aufbau von Stellendokumentationen handelt es sich um ein Feature, mit dem Stellendokumentationen abhängig von den zu dokumentierenden Daten frei zusammengestellt werden können. Dabei können Einträge mit folgenden Modulen zusammengestellt werden: Allgemeine Informationen, Technische Stelle, Koordinaten, Datierung, Planum, Fundtyp, Sichtbarkeit und Positionen. Durch diesen modularen Aufbau entstehen keine leeren Textfelder und die Lesbarkeit wird durch den minimalistischen Aufbau verbessert. Außerdem können Presets erstellt werden, um sich wiederholende Modulkombinationen zu speichern. Auf der Übersichtsseite befindet sich ein Button, mit dem der Modulmanager geöffnet werden kann. In diesem kann die Auswahl der Module eingestellt und Presets gespeichert werden. Ein Bild zum Modulmanager befindet sich in Abbildung 4.

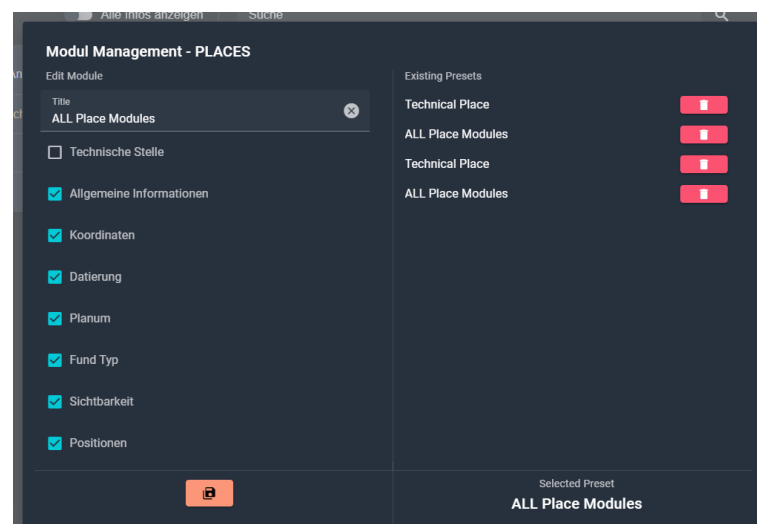


Abbildung 4: Pop-Up für die Erstellung von Modulkonfigurationen

Um eine Stelle bearbeiten zu können, muss die zu bearbeitende Stelle angeklickt werden. Daraufhin wird die Bearbeitungsseite der ausgewählten Stelle angezeigt. Diese besteht aus den für die Stelle ausgewählten Modulen, welche sich im Reiter *Allgemein* befinden.

Neben der schriftlichen Dokumentation können einer Stelle Bilder, Modelle und Positionen hinzugefügt werden. Die dazugehörigen Buttons befinden sich auf der linken Seite des Fensters. Wird auf eine Position geklickt, öffnet sich die Bearbeitungsseite der ausgewählten Position. Diese hat einen ähnlichen Aufbau wie die Bearbeitungsseite der Stellen, nur dass der Positionsbutton fehlt. Ein Beispielbild für den Aufbau einer Bearbeitungsseite befindet sich in der Abbildung 5.

Zudem wurden im System weitere Features hinzugefügt, welche durch die Anforderungen der Archäologinnen und Archäologen entstanden sind. Dazu gehören:

- Eine Wechselfunktion zwischen deutscher und englischer Sprache, um das System international zu gestalten. Dies hatte eine Relevanz, weil auf der Exkursion in Xanten neben Deutschen auch Archäologinnen und Archäologen aus den Niederlanden teilnahmen.
- Eine Wechselfunktion zwischen hellem und dunklem Thema, um die Lesbarkeit bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen zu verbessern (siehe Abbildung 5 und 6).
- Eine Import- und Exportfunktion, um existierende Daten extern speichern zu können. Die Daten können entweder in ein PDF oder CSV-Format exportiert werden oder in einem systeminternen Backup-Format gespeichert werden. Diese Backups können wiederum in das System importiert werden.

Diese Features können über die Sidebar des Systems verwendet werden. Mit diesen Features soll die Anpassbarkeit der UI realisiert werden (Anforderung C4). Außerdem wurde ein Auto-Fill-Feature hinzugefügt, welches es erlaubt, Begriffe automatisch abzuspeichern. Während der Eingabe in ein Textfeld werden Begriffe angezeigt, welche zu der Eingabe passen.

The screenshot displays a mobile application interface for editing a position. The top bar shows the identifier 'NW 2023/0001 4 1'. A left sidebar contains navigation and action buttons: 'ALLGEMEIN' (selected), 'BILDER', 'MODELLE', 'SPEICHERN' (highlighted in orange), 'LÖSCHEN' (highlighted in red), and 'ABBRECHEN' (highlighted in blue). The main content area is a form with the following fields: 'Pos-Nr.' with value '1', 'Unter-Nr.' (empty), checkboxes for 'Hat Unter-Nr.' and 'Trennen', a dropdown for 'Ansprache', a large text area for 'Beschreibung', a date field 'Datum' with '8.8.2023', and a text field 'Bearbeiter'. Below these is a section titled 'Gauss-Krüger-Koordinaten' containing three input fields: 'Rechts', 'Hoch', and 'Höhe'. Further down are fields for 'Anzahl', 'Gewicht', a dropdown for 'Material', and a dropdown for 'Differenzierung'. The bottom status bar indicates '2023 — TH-Köln'.

Abbildung 5: Bearbeitungsseite für Positionen

Abbildung 6: Bearbeitungsseite für Positionen im hellen Thema

2.4 Frameworks und Packages

Die aktuelle Version des Systems ist eine Single-Page-Anwendung, die auf Basis des Frontend-Frameworks Vue.js erstellt wurde (Vue.js, 2023). Dieses Framework wurde verwendet, da es eines der am schnellsten wachsenden Frameworks ist und eine ausführliche Dokumentation bietet. Somit ist der Einstieg für Neueinsteiger einfach. (Kaluža u. a., 2018)[S.268]. Vue.js ist komponentenbasiert aufgebaut. Es werden Komponenten erstellt, welche einzelne Bestandteile oder eine gesamte Seite repräsentieren. Eine Komponente kann dabei auch aus mehreren Komponenten zusammengesetzt sein. Unter Komponenten kann ein Vererbungsverhältnis auftreten. Diese stehen dann in einem Eltern-Kind-Verhältnis. Vue-Komponenten können außerdem untereinander kommunizieren und Daten austauschen. Dies geschieht durch Props und Emitter. Props dienen dabei zur Kommunikation von Elternkomponente zu Kindkomponente. Und Emits für die entgegengesetzte Kommunikation. Wofür diese Kommunikation relevant ist, wird im Kapitel Technische Umsetzung ersichtlich. (Vue.js, 2023)

Mit Vuetify (Vuetify.js, 2023) existiert ein Framework, welche eine Vielzahl an Vue-Komponenten anbietet, wodurch sich der Aufbau des Systems vereinfacht, weil keine eigenen Komponenten geschrieben werden müssen. Alternativen zu Vue.js sind React.js (React.js, 2023) und Angular.js (Angular.js, 2023). React ist eines der verbreitetsten Frameworks im Web. Wie bei Vue.js ist die Einarbeitung in das System einfach gestaltet, wobei die Dokumentation im Vergleich zu der von Vue schwieriger zu verstehen ist. Angular hingegen ist komplexer aufgebaut als Vue und React, wodurch eine Einarbeitung komplizierter ist. Dafür bietet Angular viele integrierte Funktionen an, wodurch keine direkte Abhängigkeit zu Drittanbieter-Packages besteht. Dies ist bei Vue nur bedingt und bei React nicht der Fall (Kaluža u. a., 2018)[S.269ff.]. Aufgrund der leichten Einarbeitung,

der ausführlichen Dokumentation und der Komponentenbibliothek Vuetify wurde sich für Vue als Frontend-Framework entscheiden.

Für einige Funktionen wurden zusätzliche Packages verwendet, um diese zu realisieren. Dabei wurde als Kriterium darauf geachtet, dass diese eine ausführliche Dokumentation besitzen, um die Einarbeitung und Weiterentwicklung des Systems zu vereinfachen.

Für die Internationalisierung wurde das Package `i18n` verwendet (i18n, 2023). Dieses ist nativ mit Vue.js kompatibel und erlaubt es Wörterbücher anzulegen und Übersetzungen für Labels im System zu hinterlegen. Für dieses Package wurde sich entschieden, weil es eine verbreitete Option für die Internationalisierung ist und einfach im System umsetzbar ist.

Um das helle und dunkle Thema zu realisieren, wurde das vorhin erwähnte Framework Vuetify verwendet. Dieses ermöglicht es mehrere Themen mit verschiedenen Farbeinstellungen für Primär-, Sekundär-, Hintergrundfarbe etc. zu erstellen. Weil dieses Framework bereits verwendet wird, wurde es auch für dieses Feature verwendet.

2.5 Technische Umsetzung

In diesem Abschnitt wird erläutert, wie die im Abschnitt Beschreibung des Systemaufbaus und der Nutzung genannten Funktionen im System implementiert wurden. Dabei wird ein Fokus auf den modularen Aufbau der Dokumentation gelegt, da dieses das komplexeste Feature im Feldbuchteil ist. Zuvor werden andere Features in kurzen Absätzen erklärt.

Das helle und dunkle Design wurden, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, mit dem Framework Vuetify erstellt. Dabei werden in der Datei `vuetify.js` die verschiedenen Themen mit den Farbeinstellungen hinterlegt. Für jede Farbkategorie (Primärfarbe, Sekundärfarbe, Hintergrundfarbe etc.) werden für beide Farbpaletten die Farbwerte definiert. Nach einem Klick auf das Themenwechsel-Icon in der Sidebar wird die Farbpalette zwischen dem hellen und dunklen Design gewechselt. Dies geschieht in der `Navigation.vue`-Datei. Als Defaultwert ist das dunkle Thema eingestellt.

Die Internationalisierung wurde mit dem Package `i18n` realisiert. Die mit dem Package erstellten Wörterbücher werden in separaten Dateien gespeichert. Für das vorliegende System sind das die `en.mjs` und die `de.mjs` Dateien. Jedem Label im System wird ein eindeutiger Identifier zugewiesen. In den jeweiligen Sprachdateien werden den Identifiern die Übersetzungen zugewiesen. Diese Identifier werden im System wie Variablen verwendet. Das System setzt in die Identifier die Wörter der ausgewählten Sprache ein. Der Wechsel

der Sprache findet in der LocaleChanger-Datei statt.

Für das Duplikationsfeature werden die Daten der zu kopierenden Daten in der Datenbank ausgelesen. Daraufhin werden diese Daten in eine neue Stelle bzw. Position eingesetzt. Nur die jeweilige Identifikationsnummer wird verändert, damit diese weiterhin einzigartig bleiben.

Das größte Feature ist wie bereits erwähnt die Modulfunktion. Diese wurde mit 2 erstellten Vue-Komponenten implementiert. Diese lauten ModuleCreator und ModuleViewer. Der ModuleCreator öffnet ein Pop-up-Fenster, in dem die zu verwendenden Module ausgewählt werden können. Zudem können Presets erstellt werden, welche im System gespeichert werden.

Weil der Prozess für Stellen und Positionen identisch ist, wird im Folgenden nur von Stellen gesprochen. Die Beschreibung gilt dabei aber genauso für Positionen. Wird ein Stelleneintrag aufgerufen, sendet die PlaceForm-Komponente einen Emit an die ModuleViewer-Komponente und überträgt die Stellennummer der jeweiligen Stelle. Daraufhin ruft der ModuleViewer über die Datenbank ab, welche Module in der Stelle verwendet wurden. Danach sendet der ModuleViewer wiederum einen Emit an alle notwendigen Module und fragt nach den Daten, welche diese von der Datenbank abfragen und zurück an den ModuleViewer übertragen. Dieser leitet die Daten dann an die PlaceForm-Komponente weiter.

3 3D-Ansicht

3.1 Überblick

Neben der größtenteils textuellen Dokumentation der Ausgrabung, soll Nutzenden ebenfalls die Möglichkeit geboten werden, 3D-Modelle der Ausgrabung im System einpflegen zu können. Um möglichst viele Informationen aus den geladenen 3D-Modellen zu extrahieren, bietet das System dazu die Möglichkeit, komplexe räumliche Daten anschaulich und interaktiv darzustellen und mittels unterschiedlicher Tools zu manipulieren. Hierzu ist es notwendig, eine leistungsstarke 3D-Umgebung zu schaffen, welche über den Browser von unterschiedlichen Endanwendungsgeräten performant nutzbar ist. Um dies zu erreichen wurde im Verlauf der Entwicklung unterschiedliche Entscheidungen, von der Wahl geeigneter Frameworks/Libraries bis zum generellen Aufbau des Bereiches, getroffen, welche in den folgenden Unterkapiteln erläutert werden.

3.2 Wahl des Frameworks zur Darstellung/Berechnung von 3D-Modellen

Ausgehend von den vorherigen Projekten liegt bereits eine Umsetzung eines 3D-Bereichs in Form des Projekts Colonia Meshup (Mink u. Kemper, 2022) vor. Allerdings ist der im Zuge dessen vorliegende Projekt-Code in Python geschrieben und müsste daher in das bestehende Javascript Projekt eingepflegt werden. Dies könnte wiederum zu Problemen bei der Kommunikation unter den Bereichen führen und damit die Performance des gesamten Systems beeinträchtigen. Aufgrund dessen wurde dieser ursprüngliche Ansatz verworfen und nach geeigneteren Frameworks recherchiert, welche nativ in Javascript geschrieben und für die geplante Umsetzung infrage kommen. Dabei fielen `Babylon.js` (Babylon.js, 2023), `d3.js` (D3.js, 2023) oder `Three.js` (thr, 2023) in die engere Auswahl, wobei sich schlussendlich für Three.js zur weiteren Entwicklung entschieden wurde. Im Vergleich zu den anderen genannten Frameworks besitzt Three.js eine wesentlich komplexere und größere Auswahl von Funktionen, welche neben der generellen Erstellung einer 3D-Umgebung auch eine Vielzahl an unterschiedlichen Möglichkeiten zur direkten Interaktion von 3D-Modellen und dem Laden externer Daten bietet. Besonders mit Hinblick auf die weitere Entwicklung des Bereiches bieten diese Vorzüge großes Potenzial. Beispielsweise unterstützt das Framework ebenfalls zukunftsorientierte Funktionen wie Möglichkeit der Umsetzung/Einbettung einer VR-Umgebung (three.js VR, 2023).

3.3 Erweiterbarkeit

Basierend auf den Vorgängerprojekten war bekannt, dass sich die Anforderungen an ein solches System stets wandeln und zwischen Grabungen variieren können. Aus diesem

Grund lag der Fokus bei der Planung vor allem auf einem hohen Grad der Erweiterbarkeit, welcher es in zukünftigen Iterationsphasen ermöglichen soll, schnell und einfach neue Funktionalitäten im System einzubetten (siehe Abbildung 7). Dies ist vor allem in Hinblick auf das Projekt III von Nutzen, da verschiedene Funktionen, bedingt durch die Verlagerung des Arbeitsfokus auf den Feldbuchteil, nicht vollständig etabliert werden konnten. Dazu zählt unter anderem das Schneiden und Extrahieren von Modell-Elementen oder die Einbindung und Nutzung von Shapefiles. Für eine Implementation solcher Funktionen wurden die Bibliotheken `three-bvh-csg` (Johnson, 2023a) und `three-mesh-bvh` (Johnson, 2023b) betrachtet. Jene bieten eine Vielzahl von Funktionen, welche eine Manipulation von Material und Geometrie ermöglichen. Diese separate Ansprache von Komponenten kann zudem Optimierungsansätze zur Verkürzung der Ladezeit bieten.

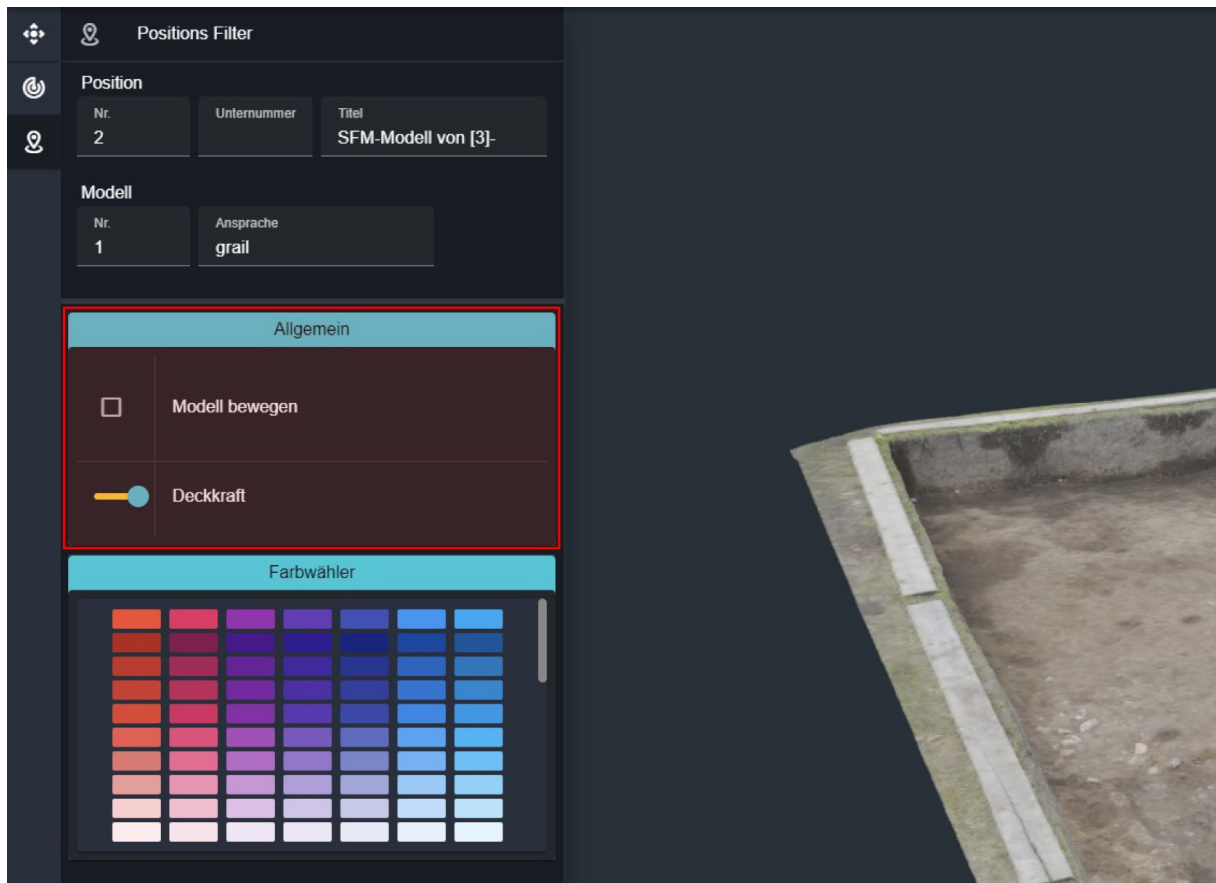


Abbildung 7: Rot: Einzelne Funktionalitäten mit Unterfunktionen, welche ein Teil einer Sammlung von „Werkzeugen“ darstellt, die dynamisch erweitert und reduziert werden kann, ohne andere Funktionalitäten zu beeinflussen

3.4 Umsetzung und Aufbau der 3D-Umgebung

Mit dem Aufruf der 3D-Ansicht werden zwei WebGL-Renderer Instanzen des Three.js Frameworks initialisiert, welche zwei separate HTML5-Canvas-Elemente nutzen, um 3D-Szenen darzustellen. Die erste Instanz ist für die Darstellung der primären Modelle zu-

ständig und verkörpert damit die „Hauptansicht“ des Bereichs. Die Größe des Canvas wird an die Größe des Anzeigebereiches angepasst. Hier kann der Nutzer geladene Modelle betrachten und eigens getätigte Modifikationen an besagten Modellen vornehmen und einsehen (siehe Abbildung 8, roter Bereich). Die zweite Instanz ist Teil der „speziellen Ansicht“ und dient zur separaten Visualisierung des hervorgehobenen Modells, welches der Nutzer frei anwählen kann (siehe Abbildung 8, grüner Bereich). So ist es möglich, 3D-Modelle zu betrachten, welche in der Gesamtheit der Szene nur schwer erkennbar gewesen wären. Zudem ist es durch diese Aufteilung der Render-Instanzen möglich, Faktoren, welche auf die Modelle Einfluss nehmen, wie z.B. Licht, speziell einzustellen. Dies kann für zukünftige Anpassungen von Nutzen sein, welche zum Zeitpunkt der Entwicklung noch nicht feststanden.

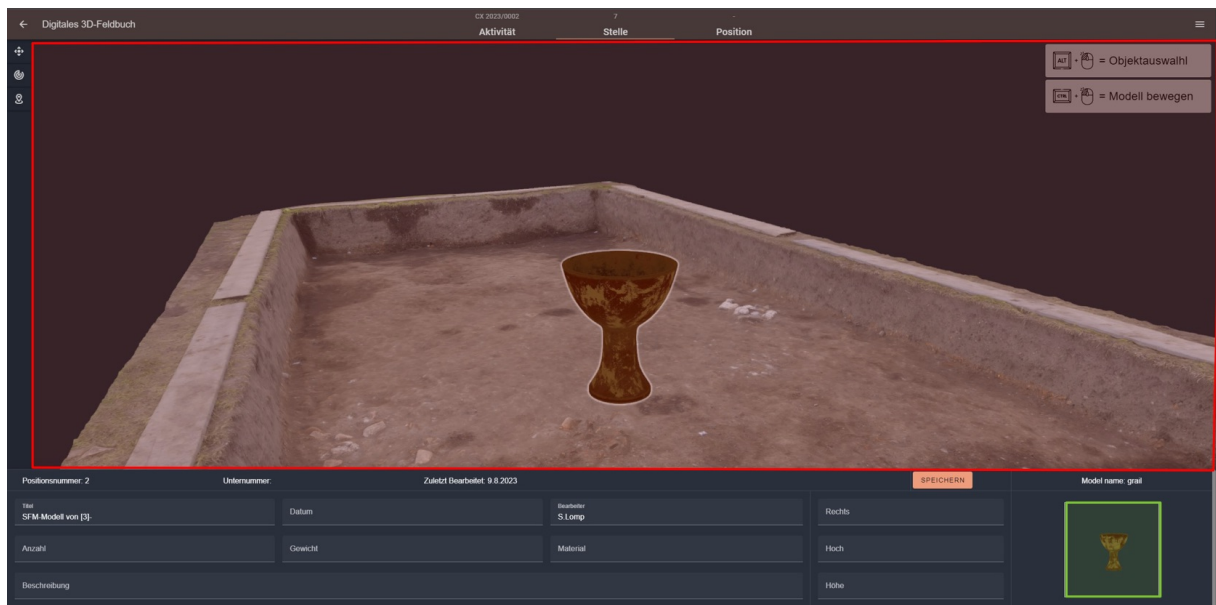


Abbildung 8: Rot: Hauptansicht; Grün: Spezielle Ansicht

Beide Canvas-Elemente sind in ein speziell entworfenes Vue.js-Layout integriert, welches Nutzenden unterschiedliche Möglichkeiten bietet, mit den dargestellten Modellen zu interagieren. Dabei unterteilt sich das Layout grundlegend in zwei Bereiche. Der linke Bereich beinhaltet Funktionen wie Tools und Filteroptionen, welche zur direkten Interaktion mit dem 3D-Modell dienen sollen (siehe Abbildung 9). Nutzende können dazu einzelne Kategorien anwählen, welche ein bewegliches Container-Element auslösen, das sich vom linken Rand in die Mitte des Bildschirms bewegt. Jenes enthält eine Sammlung an Funktionen, welche zur Manipulation einzelner 3D-Modelle genutzt werden können. Jede Funktion beschreibt dabei wiederum einen kleinen, in sich geschlossenen Bereich. Durch diese funktionale und visuelle Trennung ist es möglich nach Belieben weitere Funktionen hinzuzufügen, oder bereits erstellte im Nachhinein zu entfernen. So kann ein Wechsel der Anforderungen in späteren Iterationsphasen der Entwicklung, ohne große Komplikationen berücksichtigt werden.

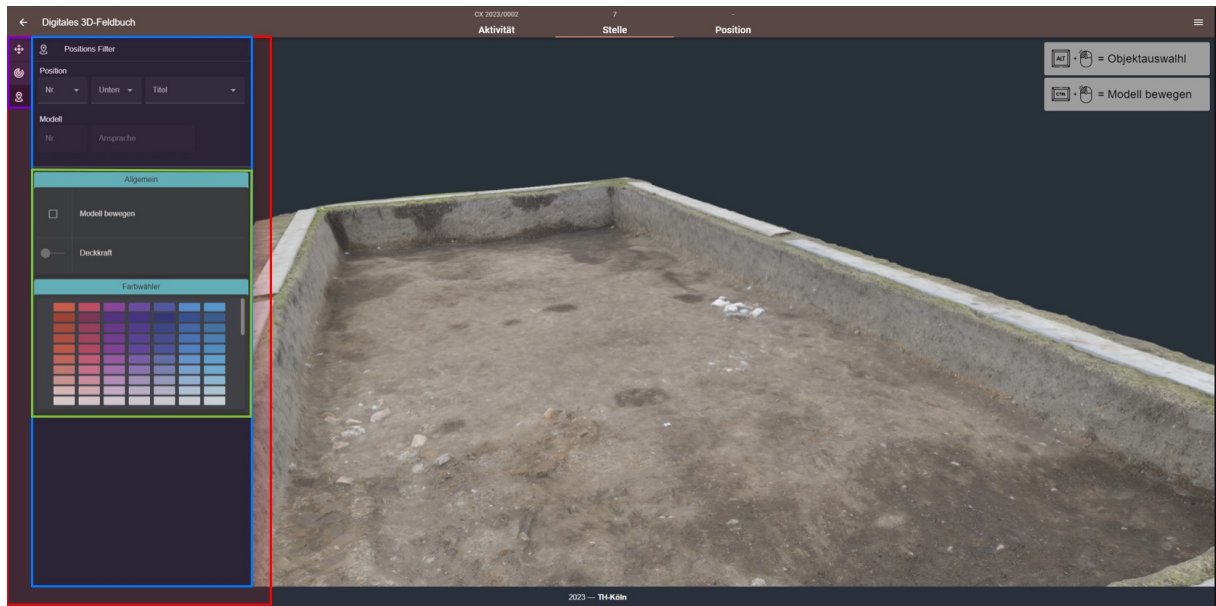


Abbildung 9: Rot: Linker Bereich; Violet: Kategorien; Blau: Container-Element für ausgewählte Kategorie; Grün: Funktionen einer Kategorie

Der untere Bereich dient im Vergleich dazu zur Interaktion mit den beschreibenden Informationen des jeweiligen 3D-Modells, welche über den Feldbauchanteil bereitgestellt werden (siehe Abbildung 10). Dies bedeutet, dass an dieser Stelle eine direkte Kommunikation zwischen den Bereichen besteht und sie damit als Einheit fungieren. Dadurch ist es Nutzenden gegeben, einen retrospektiven Ansatz der Ausgrabung, durch die Betrachtung der 3D-Modelle der vergangenen Tage vorzunehmen. Dies wirkt dem destruktiven Prozess einer Ausgrabung entgegen und ermöglicht die Synthetisierung zusätzlicher, vielleicht vorher nicht erkannter, Informationen, welche so nachwirkend ergänzt werden können. Dazu können Nutzer*innen das jeweilige Feld, welches bearbeitet werden soll, auswählen und modifizieren. Bei der Auswahl des Modells in der Hauptansicht wird das 3D-Modell mit einer weißen Umrandung hervorgehoben. So ist die eindeutige Identifikation des ausgewählten 3D-Modells, auch bei einer größeren Anzahl an Modellen, möglich.

3.4.1 Laden von 3D-Modellen

Das Laden von 3D-Modellen passiert automatisch beim Aufruf der 3D-Ansicht. Dabei ist die zu diesem Zeitpunkt ausgewählte Aktivität und Stelle entscheidend darüber, welche 3D-Modelle geladen werden. Das System prüft, welche 3D-Modelle jeweils unter der Stelle gespeichert sind und lädt diese in die Szene der Hauptansicht. Diese Designentscheidung basiert auf den Beobachtungen, welche während der Nutzung des Systems gemacht wurden. Dabei wurde die 3D-Ansicht stets nach der Bearbeitung einer Stelle, zur genaueren Betrachtung ausgewählt. Da das ganze System webbasiert auf unterschiedlichen Endgeräten, mit diversen Speichervolumina und Leistung, performant laufen soll, wurde sich dazu entschieden 3D-Modelle im .glb-Format zu speichern. Dieses Binärformat zeichnet sich

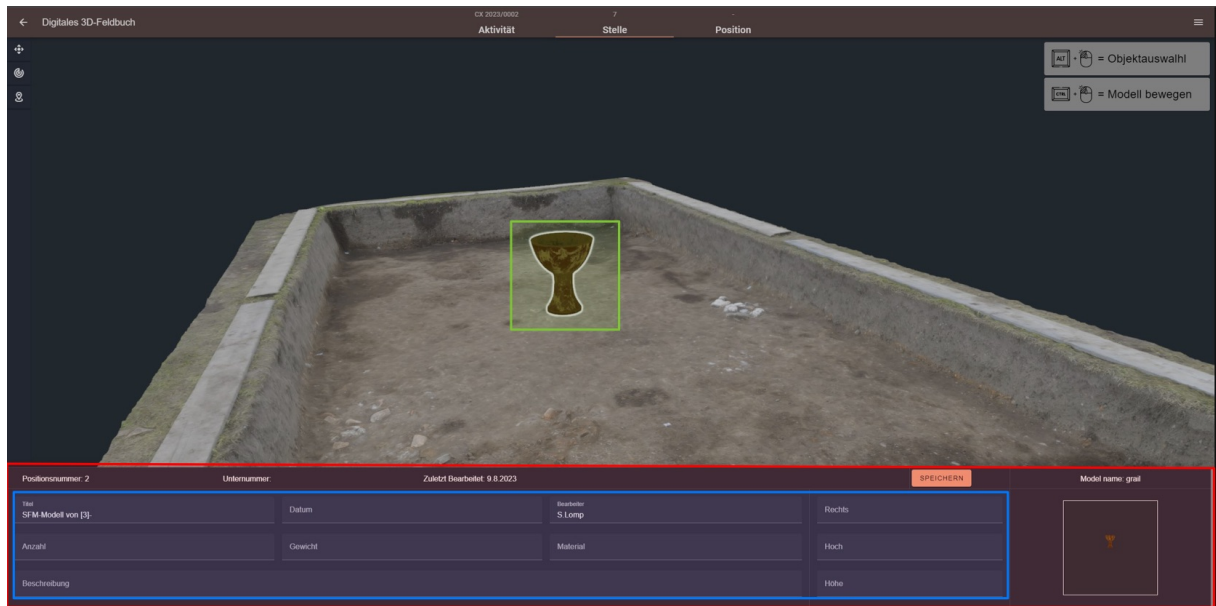


Abbildung 10: Rot: Unterer Bereich; Blau: Editierbare Felder mit Informationen zu dem ausgewählten 3D-Modell; Grün: Ausgewähltes Modell, welches durch eine weiße Umrandung besser in Szene erkennbar wird

vor allem, neben seiner geringen Dateigröße, auch dadurch aus, dass es alle Informationen, welche das 3D-Modell beschreiben, in einer Datei zusammenfasst. So müssen, wie es z.B. beim .obj-Format der Fall ist, nicht Geometrie, Texturen und andere Informationen separat in das System geladen werden. Dies ist nicht nur ein positiver Faktor in Bezug auf die logistische Verwaltung der Daten, sondern stellt auch für den Nutzer eine erleichterte Handhabung der Daten dar, da dieser so nur auf eine Datei achten muss. Zum Laden einer solchen Datei bietet Three.js eine **loader-Funktion** (GLTFLoader, 2023), welche kurz nach der Erstellung der Szene alle Modelle lädt.

3.4.2 Steuerung in der 3D-Umgebung

Um dem Nutzer die Möglichkeit zu geben, 3D-Modelle im 3D-Raum genauer betrachten zu können, bietet Three.js eine Vielzahl an Möglichkeiten, Steuerungsoptionen zu initialisieren. Dabei fielen die sogenannten „**Orbit**“-**Steuerung** (OrbitControls, 2023) und „**Arcball**“-**Steuerung** (ArcballControls, 2023) in die nähere Auswahl. Beide Optionen zeichnen sich dadurch aus, dass sie es erlauben, die Kamera über eine simple Mausbewegung um das zu betrachtende 3D-Modell zu bewegen und so von mehreren Seiten betrachten zu können. Schlussendlich fiel die Wahl auf die „**Arcball**“-**Steuerung**, da diese eine vollständige Rotation um das 3D-Modell erlaubt, was die Nutzung, im Gegensatz zur „**Orbit**“-**Steuerung**, erleichtert. Die „**Arcball**“-**Steuerung** beschreibt sich dadurch, dass die Kamera entlang der Oberfläche einer Kugel, in dessen Zentrum das zu betrachtende 3D-Modell liegt, durch die Bewegung der Maus bewegt werden kann. Dabei bleibt das 3D-Modell selbst immer im Fokus der Kamera, was es dem Nutzer ermöglicht, jenes aus

jedem gewünschten Blickwinkel zu betrachten. Zur besseren Handhabung wurde die ursprüngliche Implementation der Steuerung angepasst. Standardmäßig war es Nutzenden möglich, den Fokus der Steuerung neu auszurichten, was die Illusion ergab, das 3D-Modell im Raum verschieben zu können. Diese Funktion führte allerdings bei Nutzern vermehrt zu Verunsicherung und erschwerte die Nutzung. Nach der Abänderung, wird nun über dasselbe Verfahren lediglich die Kamera im Raum bewegt, wodurch sich der Fokus der Kamera ändert.

3.4.3 Umgesetzte Tools

Der 3D-Bereich bietet neben der reinen Betrachtung von 3D-Modellen auch die Möglichkeit jene zu manipulieren. Diese Optionen werden über die unterschiedlichen Kategorien in der linken Sidebar angeboten (siehe Abbildung 9, violetter Bereich). Dabei wird zwischen den allgemeinen Tools und den spezifischen Einstellungsmöglichkeiten unterschieden, welche sich entweder auf die 3D-Modelle der Stellen, oder der Positionen beziehen (siehe Abbildung 11, Mitte und rechts). Diese Trennung in Kombination mit einer Filterfunktion, ermöglicht es den Nutzenden spezielle Modelle separat anzusprechen und deren Eigenschaften zu ändern. Die allgemeinen Tools hingegen umfassen Berechnungen, welche auf die gesamte Szene angewendet werden.

Auf Basis des direkten Feedbacks durch die Archäologen, welche während der Exkursion als Nutzer fungierten, wurde die Priorität der Umsetzung einiger bestehender Anforderung des Vorgängerprojekts neu angepasst. Daraus ergab sich, dass eine Vielzahl an Funktionen zur Bearbeitung von 3D-Modellen nun nicht mehr im gleichen Maße gefordert waren wie ein die des Feldbuchanteils. Darunter fallen beispielsweise Funktionen zum Schneiden von 3D-Modellen, oder die Erstellung und Bearbeitung von Shapefiles. Aufgrund dieser Anpassung werden jene Anforderungen daher erst im nächsten Semester im Zuge der P3-Phase weiter bearbeitet.

Der aktuelle Stand des Systems umfasst daher in der Kategorie „Tools“ lediglich eine Funktion zur Abmessung von Distanzen im 3D-Modell. Da, wie schon zuvor beschrieben, nicht viele Informationen zu dieser Anforderung gesammelt werden konnten, wurde diese Funktionalität basierend auf einzelnen Aussagen der Archäologen umgesetzt. Um den Nutzer während, aber auch nach der Grabung beim Dokumentationsprozesses zu unterstützen, wurde ein Tool zur Vermessung der geladenen 3D-Modelle entwickelt. Jenes ermöglicht das Setzen von zwei Ankerpunkten auf der Oberfläche eines 3D-Modells in der Szene, zwischen welchen der Abstand berechnet und dem Nutzer visuell als Linie präsentiert wird. Ein Ankerpunkt beschreibt sich als feste Markierung, welche in der Szene als kleine gelbe Sphäre repräsentiert wird. Um die normale Nutzung des Systems mittels der Mauseingabe nicht zu behindern, muss der Nutzer zusätzlich die „Steuerung“-Taste betätigen. Dabei ist die erste gesetzte Markierung stets der Start- und die zweite Markierung der Endpunkt. Bei der Planung des Tools wurde darauf geachtet, die Nutzung

möglichst einfach zu gestalten. So muss jenes Tool nicht aus einer Liste von Tools ausgewählt werden, sondern kann direkt, in der Kombination mit einer zusätzlichen Taste, genutzt werden. Das Ergebnis der Messung wird direkt in der Szene dargestellt. Darüber hinaus bietet das Tool noch weitere Möglichkeiten der Nutzung, welche in der Kategorie „Tools“ in der linken Sidebar ausgewählt werden kann (siehe Abbildung 11, links). Dem Nutzer wird dabei die Option geboten, vorhandene Messungen umzubenennen, oder zu löschen.

Die spezifischen Einstellungsmöglichkeiten dient zur Modifikation einzelner 3D-Modelle. Dem Nutzer wählt über die Eingabe unterschiedlicher Parameter, wie z.B. Nummer oder Titel, ein 3D-Modelle aus. Darauf hin werden Funktionen vom System geboten, um sowohl die Farbe, als auch die Deckkraft des 3D-Modells anzupassen. Dadurch ist es möglich, ein 3D-Modell aus der Gesamtheit der Szene hervorzuheben. Genau wie in der Kategorie „Tools“, sind die Funktionen erweiterbar und können in der Zukunft erweitert werden.

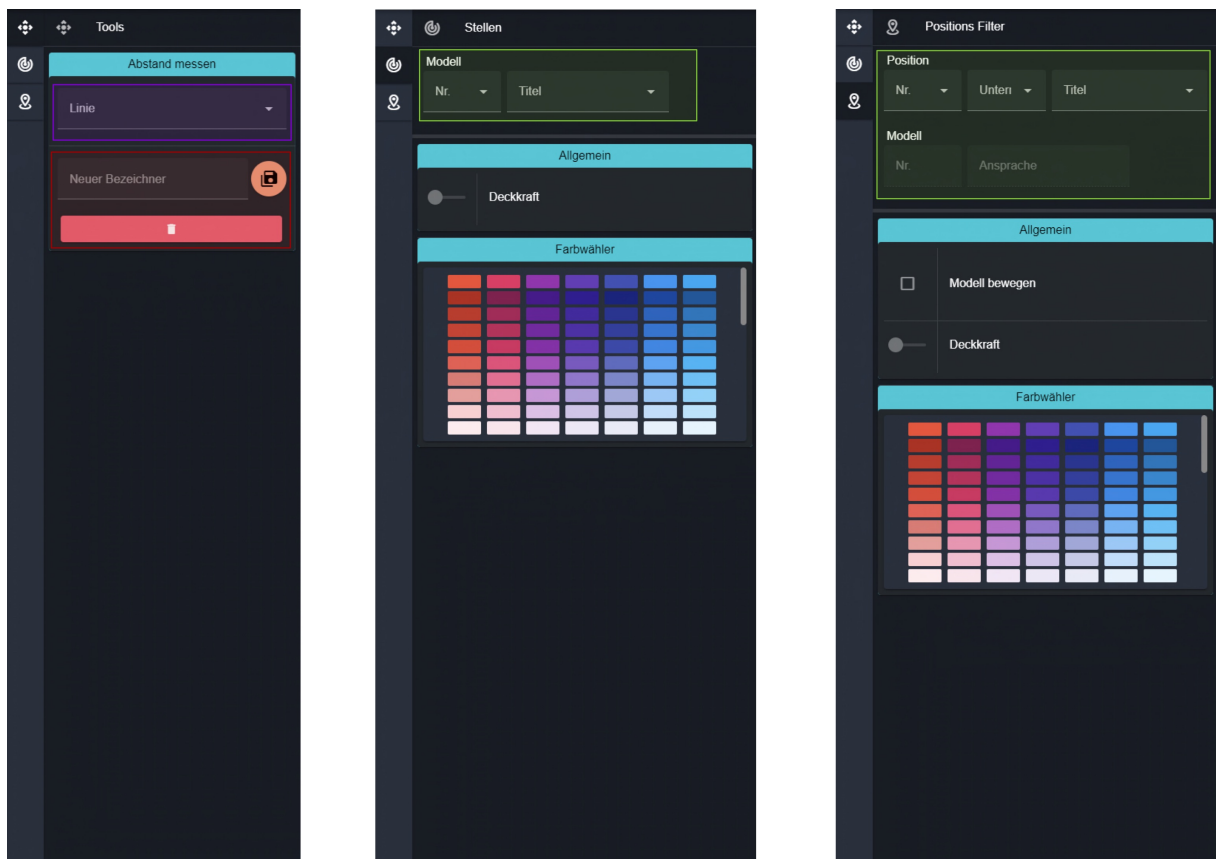


Abbildung 11: Rot: Umbenennen/Löschen eines gemessenen Abstandes; Violet: Auswahl gemessener Abstände; Grün: Filteroptionen für 3D-Modelle von Stellen und Positionen

3.4.4 Datenverwaltung und Speicherung

Jede Interaktion mit einem 3D-Modell führt zu einer direkten Manipulation einer Vielzahl an Attributen, welche auf eine Art und Weise festgehalten werden müssen, um den aktuellen Bearbeitungsstand zu rekonstruieren. Dazu bietet Three.js zwar die Möglichkeit der Zwischenspeicherung der kompletten Szene im JSON-Format, welcher allerdings im gegebenen Kontext nicht alle Parameter umfasst. Beispielsweise werden sämtliche Einstellung der gewählten „Arcball“-Steuerung nicht festgehalten. Das getrennte Speichern dieser Informationen führt beim erneuten Laden zu einem asynchronen Verhalten, wodurch das 3D-Modell nicht mehr korrekt auf die Eingabe des Nutzers reagiert. Daher wurde alternativ eine Speicherung einzelner Werte vorgezogen, welche dazu in der IndexedDB hinterlegt werden. Um dem Nutzer den Umgang mit dem Bereich zu erleichtern, erfolgt die Speicherung aller Informationen, welche beschreibend für die Szene sind, automatisch beim Wechsel des Bereichs in den Feldbuchanteil. Alle Änderungen, welche über die spezielle Ansicht von 3D-Modellen an den Daten vorgenommen werden, müssen allerdings vom Nutzer selber bestätigt. Dies umfasst die Informationen, welche sowohl von Seiten des 3D-Bereichs, als auch vom Feldbuchanteil bearbeiten werden können. So ist ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor gegeben, welcher den Nutzer beim Umgang mit sensiblen Daten unterstützen soll.

4 Datenbank

4.1 Umstieg auf IndexedDB

Im Projekt I wurde ein System konzipiert, in dem CouchDB (Apache, 2023) und PouchDB (PouchDB, 2023) als Datenbanken benutzt werden, um eine Offline-Speicherung und eine Synchronisation von Daten zu gewährleisten. PouchDB ist hierbei eine Version von CouchDB, welche lokal auf dem Endgerät ohne Internetverbindung funktioniert und zu einem späteren Zeitpunkt mit der online Datenbank (CouchDB) synchronisiert werden kann. Im Laufe des Projektes wurden allerdings einige Probleme mit diesem Ansatz deutlich. Ein wichtiger Aspekt bestand darin, dass CouchDB keine dedizierte Sperre bei gleichzeitigen Schreibzugriffen bietet. So müssen Schreibkonflikte per Hand gelöst oder aktiv verhindert werden. Dadurch gab es einige Probleme mit der Synchronisierung von verschiedenen lokalen PouchDB Versionen mit den globalen CouchDB Daten. Zusätzlich stellten sich weitere Probleme heraus, wie fehlende bzw. unvollständige Dokumentation und fehlender nativer Support für Datentypen wie Datum, binäre Daten und verschachtelte Objekte. Deshalb wurde nach einer anderen Datenbanklösung gesucht. Dabei wurde IndexedDB als eine für das Projekt passende Option für eine lokale, internetunabhängige Datenspeicherung entdeckt.

IndexedDB ist eine low-level API für das Client-seitige Speichern von großen Datenmengen und Dateien. Die Daten werden im Browser gespeichert, wodurch ein schneller Zugriff auf die Daten gegeben ist. Die IndexedDB ist dabei wie eine NoSQL-Datenbank aufgebaut. Die Daten werden in Paaren aus einem Schlüssel und einem Objekt mit den Daten gespeichert. Die Funktionen der IndexedDB sind asynchron, weshalb keine Prozesse beim Zugriff auf die Datenbank blockiert werden. (Mozilla, 2023)

Um die IndexedDB in das Projekt einzubinden, wurden 2 Klassen namens `ConnectionToOfflineDB` und `ConnectionToBackend` implementiert. Die Klasse `ConnectionToOfflineDB` dient dabei dazu, dem System das Durchführen der CRUD-Operationen (Daten anlegen, lesen, aktualisieren oder löschen) auf der IndexedDB zu ermöglichen. Zusätzlich können durch diese Klasse einzelne Objekte in der IndexedDB gesucht und ausgegeben werden. Die Klasse `ConnectionToBackend` dient dabei dazu, die Daten der IndexedDB mit dem Backend-Server und der damit verbundenen Online-Datenbank zu synchronisieren.

4.2 Online-Datenbank

Um eine Synchronisation der Daten zu gewährleisten, wurde entschieden, die Daten der IndexedDB bei Internetzugriff auf eine Online-Datenbank hochzuladen und mit anderen lokalen Versionen zu synchronisieren. Nach einer Recherche zu einer passenden Datenbank wurde zunächst Google Firebase Firestore (Google, 2023a) (als dokumentenbasierte NoSQL-Datenbank) und Google Firebase Cloud Storage (Google, 2023b) (als Speicher für Nutzer generierte Dateien wie Bilder oder 3D-Modelle) ausgewählt. Diese bieten den Vorteil, dass Daten und größere Dateien wie die für die 3D-Ansicht benötigten 3D-Modelle dort schnell und unkompliziert hochgeladen werden können. Ebenso konnte mit dieser Lösung eine schnelle erste Prototypisierung durchgeführt werden. Nach einer späteren Re-Evaluation dieser Option wurde sich jedoch dagegen entschieden, da diese erst bei einem kommerziellen Produkt sinnvoll wäre und sich aufgrund von Kosten/Nutzen-Gründen nicht eignete. Ebenso kamen Bedenken zur Datensicherheit auf Google Servern auf. Stattdessen wurde sich dafür entschieden, eine auf MongoDB basierende Datenbank zu nutzen. So können der Backend-Server und die Datenbank auch zu einem späteren Zeitpunkt auf einem beliebigen Server (z.B. auf einem Server der TH Köln) gehostet und aufgebaut werden. Außerdem bietet MongoDB einige Funktionen zur Berichtigung von Synchronisationsproblemen und zum Sperren von Dateien zur Verhinderung von gleichzeitigen Schreibzugriffen. Diese können im nachfolgenden Projekt III zur Fertigstellung der Online-Anbindung/-Synchronisation genutzt werden.

5 Retrospektiver Vergleich mit Plänen aus Projekt I

Im Laufe des Projekt I wurden sowohl Basisanforderungen als auch Leistungs- bzw. Begeisterungsfaktoren definiert, welche die zu entwickelnde Software beinhalten sollte. Außerdem wurden weitere Anforderungen aus dem Colonia MeshUp Projekt (Mink u. Kemper, 2022) übernommen, welche sich ebenso in der Software wiederfinden sollten. In diesem Kapitel werden die einzelnen Anforderungen aufgeführt und bestimmt, ob die Planungen aus dem Projekt I erfolgreich umgesetzt werden konnten und welche in der Zukunft noch umgesetzt werden müssen. Dabei werden die Anforderungen und Faktoren in zwei Kategorien unterteilt: Muss-Features und Soll-Features. Der erfolgreichen Implementierung eines Muss-Features wird ein höherer Stellenwert gegeben als die Implementierung eines Soll-Features.

5.1 Analyse der Basisanforderungen

Erfolgreich implementierte Anforderungen

- (B1) Das System muss die Möglichkeit bieten, ein neues 3D-Modell in die Anwendung einzufügen.
- (B2) Das System muss fähig sein, angelegte Funde in einem 3D-Modell darzustellen.
- (B3) Das System muss die Möglichkeit bieten, Informationen eines angelegten Fundes abzufragen und anzuzeigen.
- (B4) Das System muss die Möglichkeit bieten, das 3D-Modell der Ausgrabungsstätte zu rotieren.
- (B5) Das System sollte die Möglichkeit bieten, einzelne Elemente und Annotationen auszublenzen.
- (B6) Das System soll fähig sein, das 3D-Modell und die zugehörigen Annotationen performant zu verarbeiten.
- (B7) Das System muss fähig sein, vertrauliche Daten sicher zu übermitteln und zu speichern.
- (B8) Die Benutzeroberfläche sollte für den Nutzer selbstbeschreibend sein, sodass die Einarbeitungszeit reduziert wird.
- (B9) Das System muss fähig sein, den Abbildungsmaßstab darzustellen.
- (B10) Das System muss fähig sein, die Koordinatenachsen darzustellen.

Durch die Umstellung auf das Stellenkartensystem wurden einige Anforderungen neu definiert. Wenn beispielsweise in den Anforderungen von Projekt I von Funden die Rede war, wird nun von Positionen gesprochen. Die geplanten Funktionalitäten im 3D-Bereich bleiben dabei unverändert.

Nicht implementierte Anforderungen

- (B11) Das System muss fähig sein, Informationen über Funde von einem schon existierenden Feldbuch bzw. einem anderweitigen Dokumentationssystem abzufragen.
- (B12) Das System muss die Möglichkeit bieten, angezeigte Funde nach bestimmten Kriterien zu durchsuchen/filtern.
- (B13) Das System muss fähig sein, seine Funktionen ortsunabhängig ausführen zu können.

Dabei wurden drei Anforderungen zum aktuellen Stand nicht implementiert. B11 Eine Filterung und Durchsuchung von Stellen und Positionen ist nur bedingt möglich. Durch ein Suchfeld kann die Stellenliste einer Aktivität oder Positionsliste einer Stelle nach speziellen Werten gefiltert werden. Eine globale Suche oder Filterung nach Kategorien ist bisher allerdings nicht explizit implementiert worden. Dieses Feature wurde jedoch nicht verworfen, sondern soll im Laufe des Projekt III implementiert werden.

Zudem ist das System zum aktuellen Stand nicht komplett ortsunabhängig. Dieses Feature wurde verschoben, um sich auf die Entwicklung der funktionalen Features zu fokussieren. Im Zuge von Testversuchen im Feld wurde dabei ein Laptop benutzt, auf welchem sowohl das Frontend, als auch der Backend-Server gehostet wurde. Die Ortsunabhängigkeit soll dabei im Projekt III mit einem extern gehosteten Backend-Server realisiert werden.

Damit wurden von zehn Muss-Features sieben erfolgreich implementiert. Dies entspricht einer Quote von 70%. Diese fehlende Implementation der drei Anforderungen fand statt, da die tatsächlichen Anforderungen der Archäologen während der Ausgrabung in Xanten (siehe Kapitel 6) von den geplanten Muss-Anforderungen abwichen. So wurde ein Fokus darauf gesetzt, ein nutzungsfähiges System zu entwickeln. Die bisher nicht implementierten Features werden im Projekt III behandelt, um alle geplanten Muss-Anforderungen zu erfüllen. Die Soll-Features wurden dabei im Gesamten implementiert, sodass bei den in Projekt I erstellten Anforderungen keine weiteren Implementierungen vorgenommen werden müssen. Dies bedeutet schlussfolgernd allerdings, dass keine komplette Erfüllung aller geplanten Basisanforderungen erreicht werden konnte.

5.2 Analyse der Leistungs-/Begeisterungsfaktoren

Erfolgreich implementierte Anforderungen

- (L1) Das System muss die Möglichkeit bieten, den Fundort der Funde über Positionskoordinaten aus Tachymeterdaten zu referenzieren.
- (L2) Das System sollte die Möglichkeit bieten, mehrere Schnitte einer Ausgrabungsstelle zuzuordnen.
- (L3) Das System muss fähig sein, seine Funktionen auf verschiedenen Betriebssystemen (Windows, Android) auszuführen zu können.
- (L4) Das System muss fähig sein, das 3D-Modell und die zugehörigen Annotationen in Echtzeit zu verarbeiten.
- (L5) Das System sollte fähig sein, Funde unabhängig von einer stratigrafischen Einheit (SE) darzustellen.

Das System existiert, wie in vorherigen Abschnitten bereits beschrieben, als Browserversion. Dadurch kann das System Plattform-unabhängig benutzt werden. Dabei ist, wie ebenfalls in vorherigen Abschnitten erläutert, eine Tabletversion für Android und iOS geplant.

Nicht implementierte Anforderungen

- (L6) Das System muss die Möglichkeit bieten, ohne konstante Internetverbindung Funde und Ausgrabungsstätte einsehen und bearbeiten zu können.
- (L7) Das System muss fähig sein, bei fehlender Verbindung zum Server die Synchronisation zu verschieben.

Die Online-Funktionalität ist zum Stand dieser Dokumentation nicht fertig implementiert und ist somit ein Bearbeitungspunkt für das kommende Projekt III.

Bei den Leistungs-/Begeisterungsfaktoren wurden somit drei von fünf Muss-Anforderungen implementiert. Dies entspricht einer Quote von 60%. Bei den Soll-Anforderungen wurde mit zwei von zwei umgesetzten Anforderungen eine Quote von 100% erreicht. Somit konnte auch bei den Leistungs-/Begeisterungsfaktoren nicht das geplante Ziel aus Projekt I erreicht werden. Dies gilt es in Projekt III zu korrigieren.

5.3 Analyse der Anforderungen aus dem Projekt Colonia Mes- hUp (Mink u. Kemper, 2022)

Erfolgreich implementierte Anforderungen

- (C1) Das System soll die Möglichkeit bieten, Erdschichten verschiedener Zeitepochen farblich zu unterscheiden und hervorzuheben.
- (C2) Das System sollte die Möglichkeit bieten, den Anleger eines Fundes einzusehen.
- (C3) Das System sollte die Möglichkeit bieten, mehrere Schichten gleichzeitig anzeigen zu lassen.
- (C4) Das System sollte dem Nutzer die Möglichkeit bieten, die Benutzeroberfläche nach seinen Präferenzen zu gestalten.
- (C5) Das System sollte fähig sein, einzelne SEs ein- und auszublenden.
- (C6) Das System muss die Möglichkeit bieten, den zeitlichen Verlauf der Ausgrabungsstätte in einem 3D-Modell (schichtweise) nachvollziehen zu können.
- (C7) Das System muss die Möglichkeit bieten, alle Funde in einem gewissen Bereich des 3D Modells visuell anzuzeigen.
- (C8) Das System sollte fähig sein, manuelle Strecken im Modell festzulegen und diese zu berechnen.

Nicht implementierte Anforderungen

- (C9) Das System soll die Möglichkeit bieten, das Volumen eines ausgewählten Bereichs einer SE zu berechnen.
- (C10) Das System muss fähig sein, Nutzergruppen zu unterscheiden und ihnen unterschiedliche Möglichkeiten zu bieten.
- (C11) Das System sollte dem Nutzer die Möglichkeit bieten, domänenspezifische Hilfsinformationen abzurufen.
- (C12) Das System sollte bei inkorrektter Eingabe den Nutzer darauf hinzuweisen, diese zu ändern und ihm in der Lösung unterstützen.
- (C13) Das System soll fähig sein, aus Konturen (shapefiles) manuell SEs modellieren zu können.
- (C14) Das System sollte fähig sein, beliebige Schnitte durch die 3D-Objekte zu ziehen.
- (C15) Das System sollte fähig sein, eigene geometrische Objekte zu modellieren/konstruieren und in das Modell einzufügen.
- (C16) Das System sollte fähig sein, zusätzliche (2D-) Darstellungen des 3D-Modell anzuzeigen.
- (C17) Das System sollte fähig sein, Horizonte mehrerer Grabungen gleichzeitig darzustellen.
- (C18) Das System sollte fähig sein, markierte Flächen zu berechnen.

-
- (C19) Das System soll die Möglichkeit bieten, entlang ebener 2D-Konturen (shapefiles) Ausschnitte bilden zu können.
- (C20) Das System soll die Möglichkeit bieten, GeoTIFFs der aktuellen Ansicht zu erstellen.

Bei den Anforderungen des Colonia MeshUps wurden zwei von drei der vorher definierten Muss-Anforderungen erfolgreich implementiert, was einer Quote von 66,6% entspricht. Bei den soll-Anforderungen wurden sechs von 17 erfolgreich implementiert. Dies entspricht einer Quote von ungefähr 35%. Diese niedrige Quote liegt vor allem daran, dass der Fokus während der Exkursion und nach Absprache mit Experten auf den Feldbuchanteil gelegt wurde, weil dieser wichtiger für ihre Arbeit war. Das Ziel in Projekt III wird es sein, den 3D-Anteil weiter auszubauen und weitere nicht implementierten Anforderungen zu erfüllen.

5.4 Tabellarische Visualisierung des Fortschritts in Projekt II

Um den erreichten Fortschritt im Projekt II zu visualisieren, wird eine Wertung der einzelnen Anforderungen vorgenommen. Dabei wird jede erfüllte Muss-Anforderung mit zwei Punkten bewertet und jede erfüllte Soll-Anforderung mit einem Punkt. Eine nicht implementierte Anforderung gibt keine Punkte. Durch diese Berechnung soll bestimmt werden, wie erfolgreich das in Projekt I definierte Ziel erfüllt wurde und ein Ziel definiert, welches es in Projekt III zu erfüllen gilt. Die Tabelle ist dabei folgendermaßen aufgebaut: Es werden für jede Anforderungskategorie die erreichten Punkte für die muss- und soll-Anforderungen bestimmt. Daraus wird dann die Summe an erreichten Punkten bestimmt und in einer Spalte aufgelistet. Zudem ist pro Kategorie auch aufgelistet, wie viele Punkte potentiell erreicht werden konnten.

Anforderungskategorie	Muss-Anforderung	Soll-Anforderung	Erreichte Punktzahl	Mögliche Gesamtpunktzahl
Basisanforderungen	14	3	17	23
Leistungs-/Begeisterungsfaktoren	6	2	8	12
Colonia MeshUp	2	6	10	23
Alle Anforderungen	22	11	33	58

Tabelle 2: Visualisierung der Anforderungserfüllung

Aus der Berechnung der jeweiligen Anforderungspunkte ergibt sich somit eine Gesamtpunktzahl von 33 von 58 möglichen Punkten. Aus dieser Tabelle kann abgeleitet werden, dass vor allem ein Bedarf bei der Implementation der Anforderungen aus dem Colonia MeshUp Projekt vorliegt. Hierbei wurden nur 10 von potenziellen 23 Punkten erreicht. Die Gründe hierfür wurden im vorherigen Abschnitt erläutert. Die anderen Kategorien haben

eine gute Punktzahl erreicht, wobei diese nicht als final gilt und weiterhin verbessert werden soll. Als Ziel für das Projekt III wird eine Mindestpunktzahl von 50 angestrebt, wobei diese sich durch neue Anforderungen verändern kann. Welche diese neuen Anforderungen sind, wird im Kapitel 6 *Exkursion LVR-Archäologischer Park Xanten* erläutert.

6 Exkursion LVR-Archäologischer Park Xanten

Im Zuge einer vierwöchigen Exkursion in den archäologischen Park in Xanten konnte das bisher entstandene System in der Praxis mit Experten getestet und weiterentwickelt werden. Durch diese einzigartige Gelegenheit konnten viele Erkenntnisse und Erfahrungen gewonnen werden, die einen enormen Mehrwert für das Projekt darstellen.

Die Exkursion begann mit einem herzlichen Empfang durch das Archäologen-Team, was zudem durch ein großes Interesse am System gestärkt wurde. Eine Herausforderung stellen zu Beginn extreme Wetterbedingungen dar, welche zu Verzögerungen an den Grabungsarbeiten, sowie zu Strom-, Wasser- und Internetausfällen führten. Trotz der anfänglichen Umstände rief das System schon zu Beginn großes Interesse hervor und wurde somit auch in der Praxis für die tägliche Dokumentation verwendet. Durch die enge Zusammenarbeit mit den Archäologen konnten Bugs schnell dokumentiert, Vorschläge direkt diskutiert und Verbesserungswünsche notiert werden. Während aktiv an der Weiterentwicklung und Verbesserung des Systems gearbeitet wurde, konnte zudem aktiv bei den Ausgrabungen mitgewirkt werden. Nach Verbesserung des Wetters innerhalb der ersten Woche und dem anhaltenden Projektfortschritt konnte die Zusammenarbeit weiterhin reibungslos erfolgen.

Aus den Verbesserungsvorschlägen wurden dann folgende neue Anforderungen an das System formuliert:

- (X1) Das System muss individuell wählbaren, modularen Aufbau von Feldbucheinträgen ermöglichen.
- (X2) Das System muss fähig sein, Modulvorlagen zu erstellen.
- (X3) Das System muss fähig sein, existierende Feldbucheinträge zu duplizieren.
- (X4) Das System soll fähig sein, die Fontgröße in Abhängigkeit der Bildschirmgröße zu skalieren.
- (X5) Das System muss eine Anbindung an eine größere Datenbank bieten.
- (X6) Das System soll fähig sein, nicht fertige Einträge zu markieren.
- (X7) Das System soll fähig sein, Sprache und Thema in den Cookies zu speichern.
- (X8) Das System soll fähig sein, Positionen von einer Stelle in eine andere zu kopieren.
- (X9) Das System muss den Upload von obj-Dateien erlauben und fähig sein, sie für die interne Nutzung zu konvertieren.
- (X10) Das System soll fähig sein, alle Stellenmodelle einer Aktivität zu laden.
- (X11) Das System muss fähig sein, auf einem Tablet zu funktionieren.
- (X12) Das System muss fähig sein, eine Schnittstelle mit dem QGis-Datenformat zu bieten.
- (X13) Das System muss fähig sein, Fundlistenkarten im richtigen Format zu exportieren.
- (X14) Das System muss fähig sein, Tachymeter-Stellengrenzen auf das Grubenmodell anzuwenden.

Nachdem die Grabungskampagne abgeschlossen wurde, konnten letzte Änderungen und Verbesserungen am System vorgenommen werden. Durch die enge Zusammenarbeit mit den Experten aus der Archäologie sowie stetiges Testen und Weiterentwickeln konnten die spezifischen Anforderungen an das System schnell umgesetzt werden. Hierzu zählen Features wie eine Erweiterung des Imports und Exports, die Einführung eines Modulsystems für Seitenansichten, der Light/Dark-Mode, Internationalisierungen, eine Auto-Fill-Funktion und eine Duplikationsfunktion. Neben dem Archäologieteam stieß das System auch bei Mitarbeitern des archäologischen Parks Xanten (APX) und des LVR auf Interesse, wodurch sich weitere Anforderungen und Wünsche ergaben. Hierzu zählte vor allem die Entwicklung einer Schnittstelle zwischen unserem System und dem Programm QGis (QGis, 2023), welches vom APX zur weiteren Dokumentation und Archivierung genutzt wird.

Auch die Möglichkeit zur Nutzung des Systems im archäologischen Park wurde erwägt. Die Möglichkeit, das System im Zuge einer Grabung testen und weiterentwickeln zu können, war allgemein eine bereichernde Erfahrung. Das positive Feedback trug hierbei maßgeblich zum Erfolg des Projektes bei.

7 Fazit und Ausblick

Im Rahmen des *Projekt II - Entwicklung* konnte das digitale 3D-Feldbuch zu einem qualitativen und funktionsfähigen System entwickelt werden. Sowohl der Feldbuch-Aspekt, als auch die 3D-Umgebung zur Nutzung von 3D-Modellen konnten umgesetzt und an sich dynamisch - ändernde Anforderungen angepasst werden. Im Zuge dessen wurde zudem eine Anpassung auf das Stellenkartensystem des LVR-Amts vorgenommen.

Durch die Exkursion zum archäologischen Park in Xanten ergaben sich in der Praxis verschiedene Anforderungen und Wünsche an das System, welche im Projektverlauf aufgenommen und umgesetzt werden konnten. Somit konnte ein System, welches testweise für die Nutzung im Fachbereich der Archäologie genutzt werden kann, entwickelt werden.

Auf Basis dieser Ergebnisse aus dem *Projekt II* wird das System im *Projekt III* weitergeführt. Dabei wird die Umsetzung des Projektes in 3 Bereiche unterteilt. Diese sind die Weiterentwicklung des Systems zu einem fertigen Produkt, die Evaluation des Systems mithilfe wissenschaftlicher Methoden und die Planung einer wirtschaftlichen Verwertung des Systems.

Bei der Weiterentwicklung des Systems werden die fehlenden Features der Anforderungsliste implementiert. Diese sind in Kapitel 5 nachzulesen. Die Priorisierung im Feldbucheintrag liegt dabei auf dem Locken bei gleichzeitiger Bearbeitung eines Feldbucheintrages. Als weiteres wichtiges Feature soll die Synchronisation zwischen Client und Backend fertiggestellt werden. Weitergehende Features mit einer geringeren Priorisierung sind die Portierung der Software auf mehrere Endgeräte und eine Tutorialfunktion, welche es neuen Nutzern erleichtern soll, das System zu verstehen und ggf. das Stellenkartensystem zu erläutern.

In Bezug auf den 3D-Bereich soll in Projekt III alle Anforderungen angegangen werden, welche aufgrund der Priorisierung, welche während der Exkursion getroffen wurde, nicht umgesetzt werden konnten. Dabei handelt es sich größtenteils um die Umsetzung von Tools zur Modifikation von 3D-Modellen. Es soll möglich sein, Modelle zu scheiden, sie mithilfe von Shapefiles einzufärben und sie durch 3D-Polygonstrukturen zu erweitern. Zudem soll der direkte Import von obj.-Dateien und die interne Konvertierung jeder Dateien in glb.-Dateien durch Offset Shifts. Außerdem soll es möglich sein, geo-tiffs zu erstellen und in Modellen zeichnen zu können.

Wie schon im Kapitel 3 erwähnt, werden dazu die Libraries **three-bvh-csg** (Johnson, 2023a) und **three-mesh-bvh** (Johnson, 2023b) in Betracht gezogen, da jene eine Vielzahl an vorgefertigter Funktionen bietet. Zudem wird die Implementation der Library **draco** (Google, 2023c) in Betracht gezogen, welche eine zusätzliche Form der Komprimierung von 3D-Daten bietet. Dadurch soll es möglich sein, das Laden und Anzeigen von 3D-Modellen erheblich zu verbessern und damit die Performance zu steigern.

Um das System zu evaluieren, werden Methoden aus der Mensch-Computer-Interaktion verwendet. Eine erste Evaluationsidee wäre ein Testaufbau, bei dem Personen mit verschiedenen Wissensständen zum Thema *Dokumentation archäologischer Ausgrabungen* das System testen und ihre Meinung zum System äußern. Die Befragungsmethode steht dabei noch nicht fest und wird im Laufe des *Projekt III* bestimmt. Diese Befragung soll zudem als Härtetest für das System dienen. Das System soll bewusst herausgefordert werden, um eine Bugliste zu erhalten. Auf Basis dieser Liste kann das System weiterentwickelt werden.

Für die wirtschaftliche Verwertung des Systems werden Erkenntnisse aus dem *Vertiefungsworkshop A - Idea to market* genommen, um ein Geschäftsmodell und einen Businessplan für das Digitale 3D-Feldbuch zu entwickeln. Das Ziel ist herauszufinden, ob sich das Projekt für die kommerzielle Vermarktung eignet und wie diese ggf. umgesetzt werden kann.

Abbildungsverzeichnis

1	Übersicht der Funde im Prototyp	3
2	Erstellung eines Fundes im Prototyp	3
3	Übersichtsseite für Aktivitäten	5
4	Pop-Up für die Erstellung von Modulkonfigurationen	6
5	Bearbeitungsseite für Positionen	7
6	Bearbeitungsseite für Positionen im hellen Thema	8
7	Rot: Einzelne Funktionalitäten mit Unterfunktionen, welche ein Teil einer Sammlung von „Werkzeugen“ darstellt, die dynamisch erweitert und reduziert werden kann, ohne andere Funktionalitäten zu beeinflussen	12
8	Rot: Hauptansicht; Grün: Spezielle Ansicht	13
9	Rot: Linker Bereich; Violet: Kategorien; Blau: Container-Element für ausgewählte Kategorie; Grün: Funktionen einer Kategorie	14
10	Rot: Unterer Bereich; Blau: Editierbare Felder mit Informationen zu dem ausgewählten 3D-Modell; Grün: Ausgewähltes Modell, welches durch eine weiße Umrandung besser in Szene erkennbar wird	15
11	Rot: Umbenennen/Löschen eines gemessenen Abstandes; Violet: Auswahl gemessener Abstände; Grün: Filteroptionen für 3D-Modelle von Stellen und Positionen	17

Tabellenverzeichnis

1	Definitionen von Begriffen im Stellenkartensystem	4
2	Visualisierung der Anforderungserfüllung	25

Literaturverzeichnis

- [thr 2023] *three.js*. <https://threejs.org/>. Version: 2023. – Online; last accessed 12-Oktober-2023
- [Angular.js 2023] ANGULAR.JS: *Angular.js*. <https://angular.io/>. Version: 2023. – Online; last accessed 16-Oktober-2023
- [Apache 2023] APACHE: *CouchDB*. <https://couchdb.apache.org/>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [ArcballControls 2023] ARCBALLCONTROLS: *ArcballControls*. <https://threejs.org/docs/#examples/en/controls/ArcballControls>. Version: 2023. – Online; last accessed 24-Oktober-2023
- [Babylon.js 2023] BABYLON.JS: *babylon.js*. <https://www.babylonjs.com/>. Version: 2023. – Online; last accessed 12-Oktober-2023
- [D3.js 2023] D3.JS: *d3.js*. <https://d3js.org/>. Version: 2023. – Online; last accessed 12-Oktober-2023
- [GLTFLoader 2023] GLTFLOADER: *GLTFLoader*. <https://threejs.org/docs/index.html?q=loader#examples/en/loaders/GLTFLoader>. Version: 2023. – Online; last accessed 24-Oktober-2023
- [Google 2023a] GOOGLE: *Cloud Firestore for Firebase*. <https://firebase.google.com/products/firestore>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [Google 2023b] GOOGLE: *Cloud Storage for Firebase*. <https://firebase.google.com/products/storage>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [Google 2023c] GOOGLE: *Draco 3D data compression*. <https://github.com/google/draco>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [i18n 2023] i18N: *i18n*. <https://www.npmjs.com/package/i18n-js>. Version: 2023. – Online; last accessed 16-Oktober-2023
- [Johnson 2023a] JOHNSON, Garrett: *three-bvh-csg*. <https://github.com/gkjohnson/three-bvh-csg>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [Johnson 2023b] JOHNSON, Garrett: *three-mesh-bvh*. <https://github.com/gkjohnson/three-mesh-bvh>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [Kaluža u. a. 2018] KALUŽA, Marin ; TROSKOT, Krešimir ; VUKELIĆ, Bernard: Comparison of front-end frameworks for web applications development. In: *Zbornik Veleučilišta u Rijeci* 6 (2018), Nr. 1, S. 261–282

-
- [LVR-Amt für Bodendenkmalpflege im Rheinland 2020] LVR-AMT FÜR BODENDENKMALPFLEGE IM RHEINLAND: *Prospektions- und Grabungsrichtlinien für archäologische Maßnahmen*. https://bodendenkmalpflege.lvr.de/media/bodendenkmalpflege/service/pdf_3/Grabungsrichtlinien_2020.pdf. Version: 2020
- [Mink u. Kemper 2022] MINK, Tobias ; KEMPER, Marvin: *Colonia MeshUp*. https://github.com/TMink/PP21-Mink_Kemper. Version: 2022
- [Mozilla 2023] MOZILLA: *IndexedDB API*. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/IndexedDB_API?retiredLocale=de. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [OrbitControls 2023] ORBITCONTROLS: *OrbitControls*. <https://threejs.org/docs/#examples/en/controls/OrbitControls>. Version: 2023. – Online; last accessed 24-Oktober-2023
- [PouchDB 2023] POUCHDB: *PouchDB*. <https://pouchdb.com/>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [QGis 2023] QGIS: *QGis*. <https://www.qgis.org/en/site/>. Version: 2023. – Online; last accessed 25-August-2023
- [React.js 2023] REACT.JS: *React.js*. <https://react.dev/>. Version: 2023. – Online; last accessed 16-Oktober-2023
- [three.js VR 2023] VR three.js: *three.js-VR*. <https://threejs.org/docs/index.html?q=Vr#manual/en/introduction/How-to-create-VR-content>. Version: 2023. – Online; last accessed 24-Oktober-2023
- [Vue.js 2023] VUE.JS: *Vue.js*. <https://vuejs.org/>. Version: 2023. – Online; last accessed 16-Oktober-2023
- [Vuetify.js 2023] VUETIFY.JS: *Vuetify.js*. <https://vuetifyjs.com/en/>. Version: 2023. – Online; last accessed 16-Oktober-2023