



Hochschule München, Fakultät für Geoinformation

Luftbildbasierte Rekonstruktion und 3D-Visualisierung der historischen Stadtentwicklung von Garching bei München unter Verwendung der Programme ArcGIS Pro, InfraWorks und Cesium

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Engineering

Diese Arbeit wurde angefertigt in Kooperation mit:

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (LDBV)

1. Betreuer: **Prof. Dr. Markus Oster** (Hochschule München)
2. Betreuer: **Thomas Meier** (LDBV)

vorgelegt von

Dashi Ermida, XXXXXXXXX, 7W

Kartographie |

Geomedientechnik

München, 16. September 2024

Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

München, den 16. September 2024

A handwritten signature in blue ink that reads "Ermida Dashi". The signature is written in a cursive style and is placed on a light blue rectangular background.

Ermida Dashi

Abstract

This bachelor thesis reconstructs the urban development of Garching bei München, Germany, from 1945 to 2022 using historical aerial imagery, georeferencing with ArcGIS Pro, 3D modeling in InfraWorks, and visualization in Cesium. The project created an interactive 3D presentation of the city's development, allowing users to explore urban changes from various perspectives. Additionally, a comparison of historical infrastructure and urban development was conducted, revealing how Garching's rapid population growth influenced its urban and infrastructural expansion. The study also includes a website that provides a comparison of historical aerial images without 3D models and a guide for using Cesium, facilitating its application in similar projects. Despite achieving the primary objectives, challenges remained, particularly with the accurate positioning of 3D models in Cesium and the time-consuming process of creating building outlines as shapefiles. Future research could focus on optimizing model positioning in Cesium, automating shapefile creation, exploring other visualization platforms, and expanding studies to other cities and time periods to identify broader trends in urban development.

Keywords: historical urban development, historical aerial imagery, city reconstruction, 3D modeling, GIS, Garching bei München

Kurzfassung

Diese Bachelorarbeit rekonstruiert die Stadtentwicklung von Garching bei München, Deutschland, von 1945 bis 2022 mithilfe historischer Luftbilder, Georeferenzierung mit ArcGIS Pro, 3D-Modellierung in InfraWorks und Visualisierung in Cesium. Das Projekt ermöglichte die Erstellung einer interaktiven 3D-Präsentation der Stadtentwicklung, die es den Nutzern erlaubt, städtebauliche Veränderungen aus verschiedenen Perspektiven zu erkunden. Zusätzlich wurde eine vergleichende Analyse der historischen Infrastruktur und Stadtentwicklung durchgeführt, die zeigt, wie das schnelle Bevölkerungswachstum Garchings die städtische und infrastrukturelle Expansion beeinflusste. Die Studie umfasst auch eine Webseite, die einen Vergleich historischer Luftbildkarten ohne 3D-Modelle bietet, sowie eine Anleitung zur Nutzung von Cesium, die deren Anwendung in ähnlichen Projekten erleichtert. Trotz der Erreichung der Hauptziele traten Herausforderungen auf, insbesondere bei der genauen Positionierung der 3D-Modelle in Cesium und dem zeitaufwendigen Prozess der Erstellung von Gebäudeumrissen als Shapefiles. Zukünftige Forschungen könnten sich auf die Optimierung der Modellpositionierung in Cesium, die Automatisierung der Shapefile-Erstellung, die Erkundung anderer Visualisierungsplattformen sowie die Erweiterung der Studien auf andere Städte und Zeiträume konzentrieren, um breitere Trends in der Stadtentwicklung zu identifizieren.

Keywords: historische Stadtentwicklung, historische Luftbilder, Stadtrekonstruktion, 3D-Modellierung, GIS, Garching bei München

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau und Gliederung	3
2 Stand der Forschung	4
2.1 Historische Luftbilder	4
2.2 Geoinformationssysteme	5
2.3 3D-Modellierung	7
3 Konzeption	9
4 Umsetzung	11
4.1 Daten	11
4.1.1 Luftbilder	11
4.1.2 Digitales Geländemodell (DGM)	13
4.1.3 Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM)	14
4.1.4 3D-Gebäudemodelle (LoD2)	15
4.1.5 HTML/CSS und JavaScript Code	16
4.2 Programme	20
4.2.1 Photoshop	20
4.2.2 ArcGIS Pro	20
4.2.3 InfraWorks von Autodesk	21
4.2.4 3ds Max von Autodesk	21

4.2.5	Cesium	22
4.2.6	Visual Studio Code	22
4.3	Umsetzung	23
4.3.1	Bearbeitung der Luftbilder	23
4.3.2	Georeferenzierung der Luftbilder	25
4.3.3	Zuschneiden der Luftbilder	27
4.3.4	Erstellung der Gebäude-Shapefiles	28
4.3.5	Zuschneiden des DLM	30
4.3.6	Modellierung mit InfraWorks	30
4.3.7	Export mit 3ds Max	36
4.3.8	Visualisierung mit Cesium	39
4.3.9	Webseitenerstellung mit HTML/CSS und JavaScript	41
5	Zusammenfassung	44
5.1	Ergebnisse	44
5.1.1	Historische Stadtentwicklung von Garching bei München als Cesium-Story	49
5.1.2	Anleitung für Cesium	50
5.1.3	Webseite für den Vergleich der historischen Luftbildkarten	51
5.2	Diskussion	52
5.2.1	Fazit	55
6	Literaturverzeichnis	57

Abbildungsverzeichnis

4.1	Luftbildrecherchestation des LDBV	12
4.2	DGM von Garching bei München	14
4.3	Basis-DLM für Gewässer in Garching und Umgebung	15
4.4	Gebietsauswahl der 3D-Gebäudemodelle im BayernAtlas	16
4.5	<head>-Bereich im HTML-Code	17
4.6	Code-Ausschnitt aus <i>alternativestyles.css</i> : Gestaltung der seitlichen Auswahlmenüs	17
4.7	Code-Ausschnitt aus <i>slider.js</i> : Implementierung des Schiebereglers	18
4.8	HTML-Code für Informations-Popup und Zoomfaktor der Lupe	19
4.9	Bearbeitung des Luftbilds während der Aufnahme einer Aktion	24
4.10	Schritte der aufgenommenen Aktion	24
4.11	Zusammenfügen der Luftbilder mit Photomerge	25
4.12	Georeferenzierung der Luftbildkarte von 1999	26
4.13	Vergleich der Straßenstruktur zwischen 1945 und 2024	27
4.14	Nach Maske extrahieren: Nur das Innere der Maske wird beibehalten	28
4.15	Digitalisierte Gebäudeumrisse für das Jahr 1945	29
4.16	Digitalisierte Gebäudeumrisse für das Jahr 1970	29
4.17	Digitalisierte Gebäudeumrisse für das Jahr 1999	29
4.18	Basis-DLM für Gewässer nach dem Zuschneiden	30
4.19	Import und Konfiguration des DGM und der Luftbildkarten	31
4.20	Import und Materialauswahl der Gebäude-Shapefiles für die Jahren 1945, 1970 und 1999	32
4.21	Import der 3D-Gebäudemodelle für das Jahr 2022 als relevante Punkte	32
4.22	Stilpalette	33
4.23	Straßenmodelle im Vergleich: Autobahn 2022, einfache breite Straße, Straße mit Gehweg und Trennlinie, einfache Straße 1945	34
4.24	Modellierung der Straßen und Anpassung der Höhe	35

4.25	Import und Konfiguration des Gewässer-DLM	35
4.26	Export der 3D-Modelle im FBX-Format	36
4.27	Fehler bei der Platzierung der 3D-Modelle in Cesium: Position der 3D-Modelle stimmt nicht mit den Luftbildkarten überein	37
4.28	Entfernen des DGM-Mesh, um den Export der Straßen zu ermöglichen	37
4.29	Entfernen der Gebäude als Editable Mesh	38
4.30	Exportieren der 3D-Modelle im GLB-Format mit dem Real-Time Exporter	38
4.31	Story Erstellung: Reihenfolge der importierten Daten anpassen	39
4.32	Datenimport und Konvertierung in 3D Tiles	40
4.33	Positionierung der 3D-Modelle	40
4.34	Verwaltung der Daten im Reiter <i>My Assets</i>	41
4.35	HTML-Code für die Vergleichsansicht von Luftbildkarten mit Schieberegler	42
4.36	JavaScript-Code: Dynamisches Aktualisieren der Bilder und Markieren der Aus- wahloptionen	43
5.1	Luftbildkarte von Garching bei München (1945)	46
5.2	Luftbildkarte von Garching bei München (1970)	46
5.3	Luftbildkarte von Garching bei München (1988)	47
5.4	Luftbildkarte von Garching bei München (1999)	47
5.5	Luftbildkarte von Garching bei München (2022)	48
5.6	Demographische Entwicklung von Garching bei München von 1900 bis 2022 (LfStat (o. D.), LfStat (2019), Müller (2020))	48
5.7	Die ersten zwei Slides der Cesium-Story: Titel und 1945	49
5.8	Die letzten drei Slides der Cesium-Story: 1970, 1999 und 2022	50
5.9	Webseite für den Vergleich der historischen Luftbildkarten	51
5.10	Webseite zum Vergleich der historischen Luftbildkarten: Lupe ein	52
5.11	Visualisierungsfehler in Cesium: Obwohl die Straßen korrekt positioniert sind, liegen sie nicht vollständig auf dem Gelände	53
5.12	Fehlermeldung beim Import des DGMs	53

Abkürzungsverzeichnis

ATKIS.....	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BIM.....	Building Information Modeling
LDBV.....	Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
LfStat.....	Bayerisches Landesamt für Statistik
LGL.....	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung
LoD.....	Level of Detail
o. D.	ohne Datum

1 Einleitung

Diese Arbeit konzentriert sich auf die luftbildbasierte Rekonstruktion und 3D-Visualisierung der historischen Stadtentwicklung von Garching bei München im Zeitraum von 1945 bis 2022. Zur präzisen Darstellung der städtischen Veränderungen werden die Programme ArcGIS Pro, InfraWorks und Cesium verwendet.

1.1 Problemstellung

Die Stadt Garching bei München liegt im Norden der bayerischen Hauptstadt und ist Teil des Landkreises München. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts hat sich Garching bemerkenswert gewandelt: Von einem überschaubaren Dorf mit weniger als tausend Einwohnern zu Beginn des Jahrhunderts (LfStat, 2019) entwickelte es sich zu einer Stadt, die 17.577 Einwohner zählt (LfStat, o. D.). Dieses beeindruckende Bevölkerungswachstum lässt sich insbesondere auf den Ausbau des Gewerbegebiets Hochbrück und die Errichtung des Forschungszentrums zurückführen, welche zu bedeutenden Anziehungspunkten für Unternehmen und Wissenschaftler geworden sind. Neben diesem wirtschaftlichen Wachstum hat sich auch die städtische Struktur stark verändert, mit einer signifikanten Zunahme an Wohnhäusern und einer Erweiterung der Infrastruktur. Die Wahl von Garching als Untersuchungsobjekt erfolgt also aufgrund seiner besonderen städtebaulichen Veränderungen und der Verfügbarkeit umfangreicher historischer Daten.

Die wesentliche Herausforderung dieser Arbeit besteht darin, die vielfältigen Veränderungen in der städtischen Landschaft Garchings präzise zu rekonstruieren und zu visualisieren. Laut Kahl und Zimmer (2020) bedeutet die Visualisierung einer historischen städtischen Landschaft die Rekonstruktion eines verlorenen Zustands. Um eine Stadt in einem Zustand zu rekonstruieren, der heute nicht mehr existiert, wird bei der Bearbeitung dieses Themas eine multidisziplinäre Methodik verwendet. Diese umfasst die Bearbeitung historischer Luftbildern, den Einsatz von

Geoinformationssystemen sowie die Erstellung von 3D-Stadtmodellen. Durch diese Herangehensweise wird eine detaillierte Untersuchung der historischen Entwicklung von Garching bei München im Zeitraum von 1945 bis 2022 ermöglicht.

Ein zentraler Aspekt der Untersuchung ist der Einfluss des Bevölkerungswachstums auf die städtische Struktur. Darüber hinaus wird die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur im betrachteten Zeitraum untersucht. Es wird überprüft, welche Daten gebraucht werden und wie diese zu digitalen 3D-Modellen verarbeitet werden können. Die Auswahl der passenden Software und die notwendigen Schritte für die virtuelle Rekonstruktion der Stadt spielen eine wichtige Rolle. Die interaktive Visualisierung soll dabei helfen, die historischen Veränderungen anschaulich darzustellen. Interaktive Anwendungen sind besonders geeignet, da sie den Benutzer aktiv einbinden und mehr Informationen als eine statische Darstellung liefern können.

Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern bietet eine ideale Grundlage für diese Arbeit durch sein umfangreiches Archiv historischer Luftbilder. Diese Luftbilder bilden die Basis für die Rekonstruktion und Visualisierung der historischen Stadtentwicklung von Garching bei München. Der Zeitraum von 1945 bis 2022 wurde gewählt, da frühere Luftbilder nicht verfügbar sind und aktuell verfügbare Orthophotos aus dem Jahr 2022 stammen.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung einer interaktiven 3D-Visualisierung der historischen Stadtentwicklung von Garching bei München, indem der in diesem Kapitel vorgestellte Workflow angewendet wird.

Zunächst werden die Luftbilder mit Photoshop bearbeitet, um sie für Arbeit in ArcGIS Pro zu verwenden. In ArcGIS Pro werden die Luftbilder georeferenziert und die Gebäudeumrisse als Shapefile gespeichert. Die Shapefiles dienen als Grundlage für die 3D-Modelle der Gebäude. Die eigentlichen 3D-Modelle, einschließlich der Straßen und Bäume, werden mithilfe von InfraWorks erstellt und in Cesium interaktiv visualisiert. Dabei wird geprüft, ob Cesium eine geeignete Plattform für die Visualisierung dieser Geodaten darstellt. Die 3D-Modelle der Gebäude werden im Detaillierungsgrad LoD1 erstellt, was bedeutet, dass sie als Blockmodelle mit flachen Dächern und ohne detaillierte Dachstrukturen dargestellt werden. Für das aktuellste Jahr 2022 wurden vom LDBV 3D-Modelle mit dem Detaillierungsgrad LoD2, also mit standardisierten Dachformen,

zur Verfügung gestellt (LGL (A), o. D.). Diese Vorgehensweise führt zu 3D-Stadtmodellen, die die zeitlichen und räumlichen Veränderungen anschaulich darstellen.

Zusätzlich wird eine Webseite in HTML und CSS entwickelt, die einen Vergleich der verschiedenen Luftbildkarten ermöglicht. Darüber hinaus wird eine Anleitung für die Nutzung von Cesium erstellt, um die zukünftige Anwendung davon im LDBV zu erleichtern.

1.3 Aufbau und Gliederung

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut. Im ersten Kapitel werden die Problemstellung, die Zielsetzung und der Aufbau der Arbeit erläutert. Im zweiten Kapitel wird der Stand der Forschung präsentiert, um den aktuellen Wissensstand und die wissenschaftlichen Grundlagen der Arbeit darzustellen. Das dritte Kapitel beschreibt die Konzeption, in der die theoretischen Grundlagen und die Herangehensweise an das Thema beschrieben werden. Im vierten Kapitel wird die praktische Umsetzung behandelt. In diesem Kapitel werden die verwendeten Daten und die eingesetzte Software vorgestellt. Anschließend folgen weitere Unterkapitel, die die spezifischen Schritte der Umsetzung erläutern. Im fünften Kapitel wird die Arbeit zusammengefasst. Zunächst werden die erzielten Ergebnisse präsentiert, gefolgt von einer Diskussion, in der die Ergebnisse kritisch analysiert, Stärken und Schwächen hervorgehoben und Vorschläge für zukünftige Forschungen gemacht werden.

2 Stand der Forschung

Zur Lösung der Problemstellung ist eine multidisziplinäre Herangehensweise erforderlich. Dieses Kapitel legt den Fokus auf drei entscheidende Themenkomplexe, nämlich historische Luftbilder, die Anwendung von Geoinformationssystemen (GIS) und die 3D-Modellierung. Ziel ist es, aufzuzeigen, wie diese Aspekte in Verbindung stehen und gemeinsam dazu beitragen können, ein umfassendes Verständnis für die Gestaltung der städtischen Landschaft zu erlangen.

2.1 Historische Luftbilder

Historische Luftbilder, die häufig mit großformatigen photogrammetrischen Kameras aufgenommen wurden, dienen als wertvolle Archive für mehrdimensionale Daten und ermöglichen es, verlorene Informationen über historische Landschaften wiederherzustellen. Luftbilder ermöglichen dabei einen neutralen und wertfreien Blick auf die Erdoberfläche – ohne eine Generalisierung bzw. Wertung von Objekten. Diese Bilder sind jedoch oft durch fehlende Kamerainformationen und physische Verschlechterung des Materials beeinträchtigt, was die präzise Berechnung von geometrisch exakten 3D-Inhalten erschwert (Sevara et al., 2018).

Die wissenschaftliche Relevanz historischer Luftbilder wird in verschiedenen Studien deutlich. Sevara et al. (2018) zeigen, dass historische Luftbilder trotz dieser Herausforderungen eine einzigartige Möglichkeit bieten, vergangene Landschaften zu rekonstruieren. Sie entwickelten einen Computer Vision-basierten Workflow zur Extraktion von 3D-Daten, der durch spezielle Bildvorverarbeitungstechniken die Nachteile der Luftbilder mildert. Diese Methode, angewendet auf Bildsätze aus Sizilien über 70 Jahre, ermöglicht die Erstellung historischer digitaler Höhenmodelle und demonstriert, wie moderne Bildverarbeitungstechniken signifikante Fortschritte bei der Rekonstruktion historischer Landschaften ermöglichen.

Eine weitere Anwendung historischer Luftbilder wird in der Studie von Muñiz und García (2017) zur städtischen Entwicklung in Gijón, Spanien, untersucht. Die digitalen Sammlungen historischer

Luftbilder ermöglichen es, die räumlichen Muster neuer städtischer Entwicklungen und deren Auswirkungen auf soziale Nachhaltigkeit durch Fotointerpretationstechniken zu bewerten. Durch die Analyse der städtischen Veränderungen konnten die Autoren die Beziehung zwischen Stadtform und sozialer Nachhaltigkeit aufzeigen, was die Relevanz historischer Luftbilder in der urbanen Forschung hervorhebt.

In der Arbeit von Osgouei et al. (2022) werden langfristige Änderungen der Landnutzung und -bedeckung in Bursa, Türkei, untersucht. Durch die Kombination von Katasterkarten, monochromen Luftaufnahmen von 1955 und Satellitenbildern aus dem Jahr 2020 wird die räumlich-zeitliche Veränderung der Landnutzung und -bedeckung in den Städten Aksu und Kestel detailliert analysiert. Die Ergebnisse zeigen signifikante Veränderungen über einen Zeitraum von 162 Jahren: In Aksu wurde eine Landflucht und schrittweise Aufforstung beobachtet, während in Kestel eine Aufgabe landwirtschaftlicher Flächen und Entwaldung festgestellt wurden. Diese Studie verdeutlicht, wie historische und moderne Geodaten zusammen genutzt werden können, um umfassende Einblicke in langfristige Landschaftsveränderungen zu gewinnen und die Ursachen dieser Veränderungen besser zu verstehen.

2.2 Geoinformationssysteme

Die Anwendung von GIS in der historischen Stadtentwicklungsforschung erlaubt nicht nur die Dokumentation, sondern auch die räumliche Analyse von Veränderungen im Zeitverlauf. Durch die Integration archivarischer Daten wie historischer Luftbilder und Karten mit modernen Geoinformationssystemen wird eine detaillierte Untersuchung der städtebaulichen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung einer Stadt ermöglicht.

Laut Gregory und Healey (2007) verfügen Geoinformationssysteme über diverse Kernkompetenzen, darunter die Fähigkeit, Daten aus verschiedenen Quellen zu integrieren. Dies ermöglicht die Zusammenstellung konsistenter und zuverlässiger Langzeitdatenquellen, die zur Überprüfung und Validierung theoretischer Annahmen dienen. Des Weiteren ist GIS besser in der Lage, sowohl mit der räumlichen als auch mit der zeitlichen Komplexität der Daten umzugehen. Eine mögliche Kritik an historischen GIS-Studien besteht darin, dass sie eher dazu neigen, Muster zu identifizieren und zu beschreiben, als diese zu erklären. Trotzdem wird die Fähigkeit, Muster zu erkennen, zu fundierteren Erklärungen führen (Gregory & Healey, 2007).

Ein wichtiger Aspekt der Anwendung von GIS in der historischen Stadtentwicklungsforschung ist die Georeferenzierung historischer Luftbilder. Persia et al. (2020) zeigen einen Ansatz zur Verbesserung der Orthophoto-Genauigkeit mit minimaler Anzahl an Kontrollpunkten. Nach einer ersten Georeferenzierung wird eine Fehlermatrix erstellt, die die Fehlerverteilung darstellt. Darauf basierend werden neue Kontrollpunkte in den Bereichen mit den größten Fehlern platziert, um die Genauigkeit zu erhöhen. Diese Methodik wurde auf 67 historische Fotos eines geomorphologisch komplexen Gebiets in Süditalien angewendet. Die Ergebnisse zeigen, dass 75 Kontrollpunkte ausreichen, um ein Orthomosaik mit Koordinatenfehlern unter 10 m zu erstellen. Im Vergleich zu ähnlichen Studien erreichte dieser Ansatz eine höhere Genauigkeit bei einer geringeren Anzahl benötigter Kontrollpunkte pro Quadratkilometer. Es ist wünschenswert, möglichst wenige Kontrollpunkte zu verwenden, da die Suche und Vermessung dieser Punkte zeit- und kostenintensiv ist (Persia et al., 2020).

In der Praxis ist es oftmals unmöglich Passpunkte bzw. Landmarken, die in den historischen und aktuellen Luftbilddaten sichtbar sind, zu finden. Die Landschaft hat sich in den vergangenen Jahren stark verändert, mit dem Abriss alter Gebäude und der Neugestaltung von Straßenverläufen. Dagegen sind Wälder mit ihren Vegetationsgrenzen und Kirchen mit Friedhöfen in der Regel lagertreu.

Ein zentraler Anwendungsbereich von GIS in der historischen Stadtentwicklungsforschung ist die Analyse der städtischen Ausbreitung und Morphologie. Martí-Henneberg et al. (2023) zeigen, dass das Wachstum von Städten kein zufälliger Prozess ist, sondern durch physische Faktoren wie Topografie und Hydrologie sowie durch menschliche Einflüsse wie Bevölkerungsdichte, Verkehrsinfrastruktur und wirtschaftliche Entwicklungen gesteuert wird. Besonders in den Mittelmeerländern Europas gibt es eine Tradition städtischer Kompaktheit verbunden mit einer hohen Bevölkerungsdichte. Allerdings hat der Flächenverbrauch aufgrund der jüngsten Entwicklungen zugenommen, was eine detaillierte Analyse der räumlichen Ausdehnung und Veränderungen in der Stadtstruktur erforderlich macht. Historische Karten und Luftbilder werden georeferenziert und in einem Vektorraaster digitalisiert, um die Veränderungen der urbanen Morphologie im Laufe der Zeit zu dokumentieren. Diese Methode führte zur Entwicklung einer Historischen Urbanen Morphologischen Zone, die städtische Ausbreitungen in Städten wie Barcelona, Manresa, Valencia und Almeria untersucht und wertvolle Einblicke in ihre unterschiedlichen Entwicklungsdynamiken bietet (Martí-Henneberg et al., 2023).

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von GIS in der historischen Stadtentwicklungsforschung ist die Arbeit von Stamou et al. (2011), die sich mit der Analyse städtischer Muster und des Wachstums in drei verschiedenen Gebieten von Thessaloniki, Griechenland, beschäftigt. In dieser Studie werden Luftbilder, Satellitenbilder und kartografische Daten verwendet, um die Landnutzungsänderungen über einen Zeitraum von 60 Jahren, von 1950 bis 2010, zu analysieren. Die untersuchten Gebiete repräsentieren unterschiedliche städtische Umgebungen: ein kontinuierlich wachsendes Vorstadtgebiet, ein ehemals vorstädtisches Gebiet, das vollständig in die städtische Struktur integriert wurde, und ein kleiner Teil des historischen Stadtzentrums. Der Zugang zu historischen Daten, wie Karten und Luftbildern, sowie zu aktuellen Satellitenprodukten war entscheidend für die Analyse dieser urbanen Umgebungen. Die eingesetzten Methoden der pixel- und objektbasierten Klassifikation, ermöglichen es, die Landnutzungsänderungen präzise zu erfassen. Abschließend wurde ein GIS erstellt, das die Siedlungsmuster und das städtische Wachstum der untersuchten Gebiete visualisiert und somit Einblicke in die urbanen Transformationsprozesse bietet (Stamou et al., 2011).

2.3 3D-Modellierung

Ein Schlüsselaspekt dieser Untersuchung ist die 3D-Modellierung. Die Erstellung von dreidimensionalen Modellen eröffnet neue Perspektiven, um die Struktur und Dynamik der Stadtentwicklung zu visualisieren und spielt eine entscheidende Rolle dabei, ein umfassendes Verständnis für die räumliche Dimension der historischen Veränderungen zu schaffen.

Digitale 3D-Gebäudemodelle repräsentieren numerische, computerlesbare Datenbestände, die die Form eines Gebäudes beschreiben und zusätzliche geometrische sowie fachliche Attribute enthalten. Die 3D-Gebäudemodelle werden je nach Detaillierungsgrad in verschiedene Kategorien eingeteilt, die auch Level of Detail (LoD) genannt werden. Die beiden grundlegenden Kategorien sind LoD1, welches die Form eines Klötzchenmodells repräsentiert, und LoD2, welches Gebäude mit standardisierten Dachformen enthält (LGL, o. D.).

Wie bereits im Kapitel 2.1 erwähnt, haben Sevara et al. (2018) gezeigt, wie man mithilfe von Bildverarbeitungstechniken digitale Höhenmodelle erstellt. Ein solcher auf 3D-Datenextraktion basierender Ansatz verdeutlicht das Potenzial der 3D-Modellierung für die Rekonstruktion historischer Landschaften und städtischer Strukturen.

Weitere Studien zeigen, wie traditionelle GIS-Technologien effizient mit hochleistungsfähigen 3D-Visualisierungen kombiniert werden können, um eine detaillierte Analyse historischer Städte zu ermöglichen. Ein zentrales Element ist die Integration von 3D-BIM-Modellen in 3D-GIS-Umgebungen, wodurch räumliche und semantische Daten erfasst und visualisiert werden können. Gonçalves et al. (2016) demonstrierten dies im Rahmen ihrer Untersuchung des historischen Zentrums von Leiria, Portugal. Sie entwickelten ein 3D-GIS-Modell, das geometrische und thematische Informationen auf einer Fläche von 0,40 km² integriert. Die Gebäude werden dabei in verschiedenen Detaillierungsgraden dargestellt, von einfachen Blockmodellen (LoD1) bis hin zu detaillierten Innenraummodellen (LoD4). Besonders hervorzuheben ist die Einbindung von Texturen und Angaben zum Erhaltungszustand der Gebäude, wodurch eine präzise Analyse ermöglicht wird, die zur Erhaltung des Kulturerbes beiträgt (Gonçalves et al., 2016).

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Ansätzen zeigt die Arbeit von Chenaux et al. (2019), wie die Integration von BIM mit GIS im Rahmen der Erstellung von Virtual Historic Dublin voranschreitet. In diesem Projekt wird ein webbasiertes, interaktives 3D-Modell historischer Gebäude und Stadtzentren in Dublin entwickelt. Das Modell wird vom National Monuments Office des Office of Public Works in Irland geleitet und zielt darauf ab, die Erhaltung und Wartung historischer Infrastruktur zu unterstützen sowie Wissen für Bildungs- und Kulturtourismus bereitzustellen. Die Kombination von Fernerkundungsdaten, Historic BIM und 3D-GIS ermöglicht komplexe Analysen und 3D-Raumabfragen, um städtische und bauliche Elemente präzise zu modellieren und darzustellen (Chenaux et al., 2019).

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung von 3D-Modellierung ist das historische 3D-Stadtmodell von Karlsruhe, das Günther-Diringer (2016) im Rahmen des 300-jährigen Stadtjubiläums erstellt hat. Das Modell umfasst fünf historische Zeitschnitte (1739, 1834, 1915, 1945 und 2015) und wurde für eine benutzerfreundliche Ausstellung im Karlsruher Stadtmuseum entwickelt. Die 3D-Daten werden in hochwertigen Videos präsentiert und durch WebGL-Technologie und GameEngine Unity interaktiv aufbereitet. Diese Technologien ermöglichen es, große Datensätze in Echtzeit zu streamen und interaktive Darstellungen zu bieten, wodurch die Besucher tiefer in die historische Entwicklung der Stadt eintauchen können (Günther-Diringer, 2016).

3 Konzeption

Die Rekonstruktion und Visualisierung historischer Stadtentwicklungen stellt mehrere Herausforderungen dar, insbesondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Qualität der historischen Daten. Wie die Studie von Sevara et al. (2018) gezeigt hat, kann die Qualität der Luftbilder beeinträchtigt sein. Diese Arbeit versucht, diese Herausforderung durch digitale Bildbearbeitung zu bewältigen, um eine möglichst präzise Rekonstruktion zu gewährleisten.

Die Bedeutung der Georeferenzierung für die räumliche Genauigkeit von historischen Luftbildern wird in der Arbeit von Persia et al. (2020) betont. In dieser Arbeit ist die Georeferenzierung mittels ArcGIS Pro daher ein wesentlicher Schritt. Sie ermöglicht die präzise Überlagerung historischer und aktueller Stadtstrukturen und bietet eine klare Visualisierung der städtischen Entwicklung über die Zeit.

Die zunehmende Bedeutung von Geoinformationssystemen in Verbindung mit 3D-Modellierung ist durch Studien wie die von Gonçalves et al. (2016) und Chenaux et al. (2019) belegt. Diese Studien zeigen die Effektivität von GIS-basierten 3D-Stadtmodellen zur Darstellung räumlicher und zeitlicher Veränderungen. Ein bemerkenswertes Beispiel für die Anwendung historischer 3D-Modelle ist das Projekt von Günther-Diringer (2016), welches ein 3D-Stadtmodell von Karlsruhe umfasst. Dieses Modell, erstellt für eine Ausstellung im Karlsruher Stadtmuseum, ermöglicht es Besuchern, die historische Stadtentwicklung interaktiv zu erkunden und zu verstehen. Es zeigt, wie 3D-Modelle nicht nur das historische Stadtverständnis vertiefen, sondern auch für Menschen zugänglich und interessant gemacht werden können, die sich nicht mit Geodaten und Stadtentwicklung auskennen. Dieses Ziel verfolgt auch diese Arbeit: die 3D-Modelle sollen sowohl informativ als auch für ein breites Publikum ansprechend gestaltet werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die ansteigende Relevanz der Visualisierung von 3D-Daten im Web. Die Arbeit von Chenaux et al. (2019) hebt hervor, wie solche webbasierten 3D-Stadtmodelle durch ihre Zugänglichkeit und Interaktivität überzeugen. Plattformen wie Cesium ermöglichen es, große 3D-Datensätze interaktiv im Browser darzustellen und bieten Vorteile in Bezug auf

Benutzerfreundlichkeit und Leistungsfähigkeit. In dieser Arbeit wird Cesium verwendet, um die 3D-Modelle von Garching über verschiedene Zeiträume hinweg darzustellen. Dies ermöglicht den Nutzern, die städtischen Veränderungen zu betrachten, interaktiv zu erkunden und zwischen verschiedenen Zeitabschnitten zu wechseln.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird in dieser Arbeit eine Umsetzung entwickelt, die die Herausforderungen der Luftbildbearbeitung und 3D-Modellierung berücksichtigt. Die historischen Luftbilder werden zunächst in Adobe Photoshop bearbeitet, um Bildrauschen zu reduzieren und Kontraste zu verbessern. Danach werden sie in ArcGIS Pro georeferenziert, um eine präzise Basis für die 3D-Modellierung zu schaffen und aus den Gebäudeumrissen werden Shapefiles erstellt. Die georeferenzierten Bilder und die Shapefiles der Gebäude werden in InfraWorks importiert und daraus werden 3D-Modelle der Gebäude im LoD1-Detaillierungsgrad erzeugt. Für das Jahr 2022 werden ergänzend LoD2-Modelle genutzt, um eine präzisere und aktuelle Darstellung zu ermöglichen. Die Straßen und Bäumen werden auch für alle Jahre mit InfraWorks modelliert. Die finalen Modelle werden in Cesium integriert, um eine interaktive Visualisierung der städtischen Entwicklung von Garching zu bieten.

Das Ziel ist, die Modelle so zu gestalten, dass sie verständlich und zugänglich sind. Zur Unterstützung dieses Ziels wird zusätzlich eine Webseite entwickelt, die die historischen Luftbildkarten vergleicht. Diese Webseite, erstellt mit CSS und HTML, ermöglicht es, die Luftbilder auch ohne 3D-Stadtmodelle zu betrachten. Zudem wird eine Anleitung für die Nutzung von Cesium erstellt, um den Einsatz von Cesium für zukünftige Arbeiten zu erleichtern.

4 Umsetzung

4.1 Daten

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Daten beschrieben und es wird erläutert, wann und wofür sie bei der Modellierung der historischen Stadtentwicklung verwendet werden. Dazu gehören historische und aktuelle Luftbilder, digitale Geländemodelle, ATKIS-Daten sowie 3D-Modelle im Detaillierungsgrad LoD2.

4.1.1 Luftbilder

Luftbilder sind aufgrund ihrer hohen Informationsdichte eine wertvolle Quelle zur Planung, Dokumentation und Erforschung unseres Lebensraums. Ein Senkrechtluftbild erfasst den Zustand der Landschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt und enthält alle aus der Vogelperspektive sichtbaren Informationen, ohne dass diese bereits interpretiert oder strukturiert worden sind. Sie dienen als Grundlage für Planungen, zur Dokumentation zeitlicher Entwicklungen in Form von Zeitreihen und zur Bestimmung von Geländeformen und -höhen durch stereoskopische Auswertung (LDBV (D), o. D.).

Seit 1987 entstehen bei der Bayernbefliegung regelmäßig aktuelle Luftbilder von ganz Bayern. Dabei werden digitale Senkrechtaufnahmen der Erdoberfläche aus einer Höhe von zwischen 3500 Meter bis 5500 Meter aufgenommen. Seit 2017 wird jedes Jahr die Hälfte Bayerns, also eine Fläche von etwa 40.000 km², befliegen. Diese Bilder sind die Grundlage für sämtliche Luftbildprodukte des LDBV und ermöglichen eine vollständige Rekonstruktion der Stadtentwicklung bis zum aktuellen Stand (LDBV (B), o. D.). Seit 2009 werden die Luftbilder digital aufgenommen. Hierbei kommen digitale Großformat-Kameras mit einer Bodenpixelgröße von 20 cm zum Einsatz. Die digitalen Aufnahmen bieten eine größere Farbtiefe von 16 statt 8 Bit pro Farbkanal (LDBV (D), o. D.). Im Rahmen dieser Arbeit kommen von den moderneren digitalen Luftbildern ausschließlich

die Aufnahmen aus dem Jahr 2022 zum Einsatz. Diese aktuellen Aufnahmen werden verwendet, um die Straßen und Bäume im 3D-Stadtmodell für das Jahr 2022 präzise zu modellieren.

Die Luftbildrecherchestation bietet eine digitale Präsentation historischer Luftbilder von Bayern. Sie ermöglicht es, nach Bildern zu suchen und diese zu betrachten. Zusätzliche Informationen wie der Bildname werden auch bereitgestellt. Die Datenbank der Luftbildrecherchestation umfasst Aufnahmen ab dem Jahr 1941 bis in die Gegenwart. Der Datenbestand wird regelmäßig mit den neuesten Luftbildern aus der Bayernbefliegung und historischen Bestand aktualisiert. Derzeit umfasst der Bestand etwa 1,4 Millionen historische Luftbilder, von denen etwa 800.000 digitalisiert in der Luftbildrecherchestation verfügbar sind, während etwa 600.000 noch analog vorliegen und digitalisiert werden müssen (LDBV (E), o. D.).



Abbildung 4.1: Luftbildrecherchestation des LDBV

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die Luftbildrecherchestation verwendet, um die optimale Stadt oder den besten Stadtteil für die Rekonstruktion einer historischen Stadtentwicklung auszuwählen. Wie bereits im Kapitel 1 erwähnt, fiel die Entscheidung auf Garching bei München, da ausreichend historische Luftbilder zur Verfügung stehen. Mit dem verfügbaren Zeitfilter der Luftbildrecherchestation, der über einen Schieberegler eingestellt werden kann, lässt sich die zeitliche Entwicklung der Stadt anschaulich vergleichen. So konnten bereits beim ersten Durchsehen der Luftbilder signifikante Veränderungen in der städtischen Struktur festgestellt werden.

Für die vorliegende Untersuchung werden historische Luftbilder aus den Jahren 1945, 1970 und 1999 verwendet. Die Auswahl dieser Bilder erfolgt in regelmäßigen Abständen von 25 bis 30 Jahren, um die städtische Entwicklung über längere Zeiträume hinweg nachvollziehbar darzustellen. Es wurden die Luftbilder mit der besten verfügbaren Qualität ausgewählt. Die Luftbilder wurden im TIFF-Format geliefert, begleitet von einer Textdatei, die Produktname, Bildnummer, Flugdatum und Maßstab enthält. Die historischen Luftbilder werden in Photoshop mosaikiert und farblich verbessert, um Luftbildkarten bzw. Orthophotos zu erstellen. Dieser Prozess wird ausführlich in Kapitel 4 erläutert. Die bearbeiteten Luftbildkarten dienen als Grundlage für die Modellierung der Stadtstruktur in den 3D-Stadtmodellen sowie für die Modellierung von Straßen und Bäumen. Zusätzlich wird ein weiteres Luftbild aus dem Jahr 1988 verwendet, um auf der mit HTML und CSS entwickelte Webseite einen Vergleich der verschiedenen historischen Luftbilder zu ermöglichen.

4.1.2 Digitales Geländemodell (DGM)

Ein Digitales Geländemodell (DGM) stellt die Erdoberfläche dar, ohne Berücksichtigung von Vegetation und Bebauung, als eine Punktwolke, deren Lage und Höhe genau bekannt sind. Diese Punktwolke kann in Form eines regelmäßigen Gitters oder als Laserpunkte vorliegen. Seit 1996 werden die Daten für das Digitale Geländemodell in Bayern mittels flugzeuggestütztem Laserscanning erfasst und bei Bedarf durch erneute Befliegungen aktualisiert. Das LDBV stellt DGMs in unterschiedlichen Gitterweiten zur Verfügung, um verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden (LDBV (C), o. D.).

Diese digitalen Geländemodelle finden vielfältige Anwendungen. Sie werden zur Durchführung von Simulationen, wie für Hochwasser- und Lärmschutzberechnungen, genutzt. Außerdem sind sie auch unverzichtbar für Erdmassenberechnungen und für die Integration mit anderen Geobasisdaten wie Höhenlinien, digitalen Orthophotos und digitalen Karten. Das DGM 1, mit einer Gitterweite von einem Meter, zählt zu den präzisesten Modellen. Das DGM 5, mit einer Gitterweite von fünf Metern, bietet eine exakte Darstellung der Geländeoberfläche für ganz Bayern. Für großflächige Anwendungen eignet sich besonders das DGM 25 mit einer Gitterweite von 25 Metern. Die DGMs werden im Koordinatensystem EPSG:32632 (WGS 84 / UTM Zone 32N) bereitgestellt. Das geodätische Datum ist ETRS 89, basierend auf dem Bezugsellipsoid

GRS 1980. Das Höhenbezugssystem, das verwendet wird, ist DHHN2016. Die Daten werden im Dateiformat ASCII geliefert (LDBV (C), o. D.).

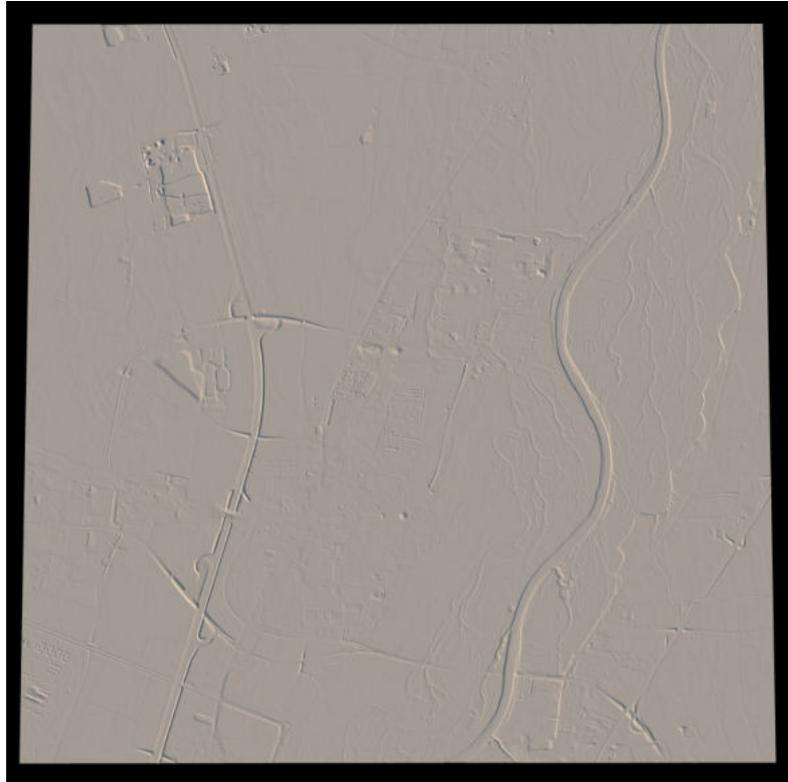


Abbildung 4.2: DGM von Garching bei München

In dieser Arbeit wird das DGM 5 von 2024 als Grundlage für die genaue Modellierung der Straßen in InfraWorks verwendet. Durch die Verwendung des DGMS können die Höhen der Straßen korrekt dargestellt werden, was eine realistische und präzise Modellierung der Straßeninfrastruktur ermöglicht.

4.1.3 Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM)

Das Basis-DLM (Digitales Landschaftsmodell) beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat und orientiert sich in seinem Informationsumfang an der Topographischen Karte 1:25.000. Die Grundlage dafür bildet ein bundesweit einheitliches Regelwerk, bestehend aus dem Objektartenkatalog, den Erläuterungen und der Datenformatbeschreibung. Das Basis-DLM ist Bestandteil des ATKIS und wird in verschiedenen Anwendungen genutzt: als Hintergrund in Geoinformationssystemen, zur Überlagerung in 3D-Visualisierungen, als Datengrundlage für

Fachinformationssysteme, für räumliche Analysen und Simulationen, zur Ableitung analoger und digitaler topographischer Karten sowie für Rettungsstellen. Der Grunddatenbestand des Basis-DLM umfasst Straßen, Wege, Eisenbahnen, Gewässer, Grenzen, flächenhafte Landschaftsteile entsprechend ihrer Landnutzung (z.B. Gewässerflächen, Gemeindegebiete) sowie punktförmige topographisch wichtige Objekte wie Masten, Türme und Windräder. Das verwendete Koordinatensystem ist EPSG:32632 (WGS 84 / UTM Zone 32N), (LDBV (A), o. D.).

In diesem Projekt werden die DLM-Daten zu Gewässern verwendet. Diese Daten, die als Shape-Dateien vorliegen, werden in ArcGIS Pro ausgeschnitten. Anschließend werden sie in InfraWorks als Wasserflächen modelliert, um sie für die endgültige Visualisierung in Cesium vorzubereiten.



Abbildung 4.3: Basis-DLM für Gewässer in Garching und Umgebung

4.1.4 3D-Gebäudemodelle (LoD2)

Die 3D-Gebäudemodelle in LoD2 entsprechen der zweiten Ausbaustufe der 3D-Gebäudemodelle. Diese Modelle enthalten ALKIS-konforme Standarddachformen und beschreibende Attribute. Grundlage für die Modellierung bilden die Gebäudegrundrisse aus ALKIS, Dachinformationen aus Airborne-Laserscanning-Daten, ALKIS-3D-Gebäudeeinmessung sowie das luftbildbasierte Digitale Oberflächenmodell (Bayerische Vermessungsverwaltung, o. D.).

Die 3D-Gebäudemodelle in LoD2 sind besonders geeignet für Maßnahmen im Umwelt- und Katastrophenschutz, in der Versicherungs- und Energiewirtschaft, in der Navigationstechnik sowie im Tourismus. Diese Modelle sind kostenfrei im OpenData-Angebot des Bayerischen Vermessungsverwaltung erhältlich und im BayernAtlas kann das gewünschte Gebiet ausgewählt werden. Die Modelle nutzen das Koordinatensystem EPSG:32632 (WGS 84 / UTM Zone 32N).

Das Bezugsellipsoid ist GRS80, das Datum ETRS89 und das Höhensystem DHHN2016. Die Daten werden im CITYGML-Format bereitgestellt (LDBV (F), o. D.).

Für dieses Projekt werden die LoD2-Modelle eingesetzt, um die Stadt Garching im Jahr 2022 detailliert zu visualisieren. Dies gewährleistet, dass das aktuellste Jahr mit einem hohen Detailgrad dargestellt wird.



Abbildung 4.4: Gebietsauswahl der 3D-Gebäudemodelle im BayernAtlas

4.1.5 HTML/CSS und JavaScript Code

Das LDBV hat einen Code bereitgestellt, der als Vorlage für die Erstellung einer Webseite dient, die historische Luftbildkarten von Garching bei München vergleicht. Zusätzlich zur Vergleichsansicht bietet die Webseite eine Lupenfunktion, die es ermöglicht, Details auf den Luftbildkarten genauer zu betrachten. Im Folgenden werden einige zentrale Abschnitte dieses Codes näher erläutert.

HTML (Hypertext Markup Language) ist die Standard-Auszeichnungssprache für Webseiten. Sie definiert die Struktur und den Inhalt einer Seite, indem sie verschiedene Elemente wie Texte, Bilder und Links in einem geordneten Format darstellt. Der HTML-Code in Abbildung 4.5 richtet den `<head>`-Bereich der Webseite ein und sorgt dafür, dass alle grundlegenden Einstellungen und Ressourcen für die Seite geladen werden. Zunächst wird die Zeichenkodierung auf UTF-8 festgelegt und ein Titel für die Seite wird hinzugefügt. Um sicherzustellen, dass die Seite auf allen Geräten gut dargestellt wird, werden Viewport-Einstellungen konfiguriert. Anschließend werden Schriftarten von Google Fonts geladen, um ein einheitliches Design zu gewährleisten.

```
3 <head>
4   <meta charset="utf-8">
5   <title>Historische Luftbildkarten</title>
6   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
7
8   <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Work+Sans:400,500,600" rel="stylesheet">
9   <link rel="stylesheet" href="css/normalize.css">
10  <link rel="stylesheet" href="css/skeleton.css">
11  <link rel="stylesheet" href="css/alternativestyles.css">
12
13  <script src="http://code.jquery.com/jquery-latest.min.js" type="text/javascript"></script>
14  <script src="js/slider.js" type="text/javascript"></script>
15  <script src="js/oninputchange.js" type="text/javascript"></script>
16
17 </head>
```

Abbildung 4.5: <head>-Bereich im HTML-Code

CSS (Cascading Style Sheets) ist eine Sprache, die verwendet wird, um das Aussehen und Layout von HTML-Dokumenten zu gestalten. Sie steuert Farben, Schriftarten, Abstände und Positionen von Elementen und ermöglicht es, Webseiten ansprechend und benutzerfreundlich zu gestalten, ohne den HTML-Code zu verändern. Im <head>-Bereich (Abbildung 4.5) des HTML-Codes werden verschiedene CSS-Dateien eingebunden. Dazu gehören *normalize.css*, das eine konsistente Darstellung in allen Browsern gewährleistet, *skeleton.css*, das das Layout der Seite und grundlegende Stile definiert, sowie *alternativestyles.css*, das die Benutzeroberfläche der Webseite mit spezifischen Stilen gestaltet.

```
279 /*das seitliche Auswahlm... für die verschiedenen Luftbilder*/
280 .sidebar{
281     width: 20%;
282     height: 100%;
283     position: absolute;
284     z-index: 4;
285     max-width: 264px;
286     top: 0;
287     overflow-x: hidden;
288     display: inline-block;
289     background-color: transparent;
290     background-color: rgba(20,20,20,0.6);
291     box-shadow: 0px 0px 12px rgba(0,0,0,0.2);
292 }
293
294 /*positioniert ein Auswahlm... links...*/
295 .left5d{
296     left: 0;
297     overflow: auto;
298 }
299
300 /*...und das andere rechts...*/
301 .right5d{
302     right: 0;
303     overflow-y: auto;
304     position: left;
305 }
```

Abbildung 4.6: Code-Ausschnitt aus *alternativestyles.css*: Gestaltung der seitlichen Auswahlm...
menüs

JavaScript ist eine Programmiersprache, die Interaktivität auf Webseiten ermöglicht. Mit JavaScript können dynamische Inhalte wie Animationen, Formulareingaben oder Pop-ups erstellt werden, wodurch Nutzer direkt mit der Seite interagieren können. Im `<head>`-Bereich (Abbildung 4.5) des HTML-Codes werden zwei verschiedene JavaScript-Dateien integriert. *slider.js* um die Funktionalität des Schiebereglers zu implementieren, und *oninputchange.js* um Eingabewertänderungen zu überwachen und entsprechende Anpassungen an der Benutzeroberfläche vorzunehmen.

```

70 //Funktion für den Vergleichsslider
71 function sliderFun(){
72     let handle = $("#handle");
73     let container = $("#resizableContainer");
74     let isActive = false;
75     let xOffset = 0;
76     handle.on("mousedown touchstart", function(e){
77         isActive = true;
78         const DragElementWidth = handle.width();
79         //ermittelt x-Offset, an welchem der Knauf gepackt wurde
80         xOffset = handle.offset().left + DragElementWidth - getCursorPosition(e).x;
81         handle.parents().on("mousemove touchmove", function(e){
82             e.stopImmediatePropagation();
83             if (isActive === true){
84                 let newXPosition = xOffset + getCursorPosition(e).x;
85                 let newWidth = newXPosition + (DragElementWidth/2);
86                 let xNotToBeExceeded = $("#overallWrapper").width() - globalValuesTools.getRSdBarWidth();
87                 newWidth = avoidPositionTooLow(newWidth, globalValuesTools.getLsdBarWidth(), 10);
88                 newWidth = avoidPositionTooHigh(newWidth, xNotToBeExceeded, 10);
89
90                 //setzt die neuen X-Koordinaten des Knaufs und die neue Breite des Luftbild-Containers
91                 handle.css("left", newWidth + "px").on("mouseup touchend touchcancel", function () {
92                     isActive = false;
93                 });
94                 globalValuesTools.setSeparationValue(newXPosition + (DragElementWidth/2));
95                 container.css("width", newWidth + "px").on("mouseup touchend touchcancel", function(){
96                     isActive = false;
97                 });
98                 e.preventDefault();
99             }
100         }).on("mouseup touchend touchcancel", function(){
101             isActive = false;
102         });
103     });
104 }

```

Abbildung 4.7: Code-Ausschnitt aus *slider.js*: Implementierung des Schiebereglers

Im `<body>`-Bereich des HTML-Codes wird eine Sektion definiert, die einen Informations-Popup sowie Steuerungselemente für den Zoomfaktor der Lupe enthält. Der Popup-Dialog bietet Informationen zur Stadt Garching bei München und kann durch einen Info-Button geöffnet werden. Nach dem Klicken auf den Lupe-Button (*Lupe ein*) wird ein Dropdown-Menü zur Auswahl des Zoomfaktors angezeigt, und es gibt zusätzlich einen Button, um die Lupe auszuschalten (*Lupe aus*).

Weitere Teile des Codes, die für die vollständige Funktionalität erforderlich sind, werden in Kapitel 4.3.9 erläutert.

```
19 <body id="ZeitreiheBody">
20 <section id="selectSection" style="width: 100vw;">
21 <div class="ZeitreiheBody">
22 <div class="ZeitreiheOverlay">
23 <div class="container">
24 <div class="row">
25 <div class="one column" style="position: absolute; left: -8%; top: 33%; ">
26 <div class="popup" id="popup-1">
27 <div class="overlay-popup"></div>
28 <div class="content-popup">
29 <div class="close-btn" onclick="togglePopup()">&times;</div>
30 <h1 id="h1InfoBox">Garching bei München</h1>
31 <p id="pInfoBox">Die Stadt Garching bei München liegt im Norden der bayerischen Hauptstadt
32 </p>
33 </div>
34 </div>
35 <button class="button callToAction" style="border-radius: 50%; font-family: 'Times New Roman',
36 Times, serif; text-transform: lowercase; font-size: 2em;" onclick="togglePopup()">1</button>
37 </div>
38 </div>
39 </div>
40 <div class="two columns" style="position: relative; left: 100px;" id="zoominterface">
41 <label class="selectLabel" for="zoomSelect">Zoomfaktor</label>
42 <select class="u-full-width dropdown" id="zoomSelect">
43 <option value=1.0>1,0</option>
44 <option value=1.5>1,5</option>
45 <option value=2.0 selected="selected">2,0</option>
46 <option value=2.5>2,5</option>
47 <option value=3.0>3,0</option>
48 <option value=3.5>3,5</option>
49 <option value=4.0>4,0</option>
50 </select>
51 <span class="flaticon-chevron"></span>
52 </div>
53 <div id="toolSelector">
54 <div class="one columns" style="position: relative; left: 100px;">
55 <div class="tooltip">
56 <button id="interfaceButton" style = "margin-top: -1em;">
57 Lupe ein
58 <span class="flaticon-search" id="interfaceButtonText"></span>
59 </button>
60 </div>
</div>
```

Abbildung 4.8: HTML-Code für Informations-Popup und Zoomfaktor der Lupe

4.2 Programme

In diesem Kapitel werden die Programme vorgestellt, die zur Erstellung und Visualisierung der 3D-Stadtmodelle verwendet werden. Die detaillierte Vorgehensweise wird anschließend in Kapitel 4.3 erläutert.

4.2.1 Photoshop

Adobe Photoshop ist eine Software zur Bearbeitung und Gestaltung von pixelbasierten Bildern. Die Software bietet umfangreiche Funktionen zur Anpassung von Kontrast, Farben und Helligkeit. Darüber hinaus stehen vielfältige Werkzeuge für Zeichnungen, Retuschen und die Anwendung von Filtern zur Verfügung. Bilder können in Photoshop auf mehreren Ebenen bearbeitet und mit verschiedenen Effekten oder Texten versehen werden. Als Teil der Adobe Creative Cloud unterstützt Photoshop die meisten gängigen Bildformate wie TIFF, JPEG und PNG (Adobe, o. D.). In diesem Projekt kommt Photoshop zur Zusammenführung und Bearbeitung der Luftbilder zum Einsatz.

4.2.2 ArcGIS Pro

ArcGIS Pro ist eine Desktop-GIS-Anwendung von Esri, die für die Erstellung von Karten, die Durchführung von Analysen und die Visualisierung räumlicher Daten genutzt wird. Die Software ermöglicht die Erstellung sowohl von 2D-Karten als auch von 3D-Szenen und bietet detaillierte Analysetools. Die Möglichkeit, Geodatenbanken zu erstellen und zu verwalten sowie Daten aus verschiedenen Quellen zu integrieren, ist ein besonders nützliches Tool von ArcGIS Pro, das effektives Geodatenmanagement ermöglicht (Esri, o. D.). ArcGIS Pro unterstützt eine Vielzahl von Dateitypen und Formaten, darunter Shapefiles, ein weit verbreitetes Format für Vektordaten, das in der Arbeit verwendet wird.

In dieser Arbeit wird ArcGIS Pro für die Georeferenzierung von Luftbildern, die Erstellung von Gebäudeumrissen auf Basis dieser Luftbilder sowie das Zuschneiden des Digitalen Landschaftsmodells (DLM) verwendet.

4.2.3 InfraWorks von Autodesk

InfraWorks ist eine BIM-fähige Software von Autodesk, die sich besonders für die konzeptionelle Planung und den Entwurf von Infrastrukturprojekten eignet. Sie ermöglicht die Modellierung, Analyse und Visualisierung von bebauten und natürlichen Umgebungen in einem realistischen 3D-Umfeld. Der Schwerpunkt von InfraWorks liegt auf der 3D-Modellierung von städtischen und infrastrukturellen Szenarien, wodurch Projekte wie Straßen-, Schienen-, Brücken- und Wasserbau detailliert dargestellt werden können. InfraWorks unterstützt eine Vielzahl von Dateiformaten, darunter FBX, DWG und SHP. In InfraWorks ist es auch möglich, verschiedene Materialien und Farben für Modelle auszuwählen, um deren visuelle Darstellung zu verfeinern (Autodesk (B), o. D.).

InfraWorks wird in diesem Projekt verwendet, um die Modellierung von Gebäuden, Straßen, Bäumen und Wasserflächen durchzuführen. Die Software ermöglicht eine detaillierte Darstellung dieser städtischen Elemente, was entscheidend für die Visualisierung der Stadtentwicklung ist.

4.2.4 3ds Max von Autodesk

3ds Max ist eine weitere Software von Autodesk für 3D-Modellierung, Rendering und Animation, die sich ideal für die Entwicklung komplexer 3D-Umgebungen eignet. Mit dieser Software können detaillierte 3D-Modelle erstellt werden, die durch ihre vielseitigen Textur- und Schattierungswerkzeuge weiter verfeinert werden. 3ds Max ermöglicht es, hochqualitative Renderings zu generieren und bietet umfassende künstlerische Kontrolle, um beeindruckende visuelle Ergebnisse zu schaffen. Wie InfraWorks unterstützt auch 3ds Max Formate wie FBX und DWG, jedoch keine Shapefiles. Im Gegensatz zu InfraWorks bietet 3ds Max Unterstützung für zusätzliche Dateiformate wie GLB, die von InfraWorks nicht unterstützt werden. Die Software wird auch häufig in der Spieleentwicklung sowie in Film- und TV-Produktionen eingesetzt (Autodesk (A), o. D.).

In diesem Projekt wird 3ds Max benutzt, um die aus InfraWorks exportierten 3D-Modelle im FBX-Format in das GLB-Format zu konvertieren. Dies ermöglichte eine optimale Vorbereitung der Modelle für die Visualisierung in Cesium.

4.2.5 Cesium

Cesium ion ist eine leistungsstarke Plattform für 3D-Geodaten, die als Software-as-a-Service (SaaS) bereitgestellt wird. Mit Cesium ion können Benutzer ihre Inhalte hochladen, die dann automatisch als 3D Tiles optimiert und in der Cloud gehostet werden. Neben Cesium ion gibt es auch CesiumJS, eine Open-Source-JavaScript-Bibliothek, sowie spezielle Versionen für Unity und Unreal Engine. Cesium ion bietet Zugang zu globalen 3D-Inhalten wie Cesium World Terrain, Bing Maps Bildern und Cesium OSM Buildings. Diese Inhalte können mit eigenen Daten kombiniert werden, um sie zu visualisieren, zu teilen oder in Apps einzubinden. Die Plattform ermöglicht die Konvertierung von Daten in 3D Tiles, was die optimale Methode für das Streaming und Rendern umfangreicher 3D-Inhalte wie 3D-Gebäude darstellt. Cesium ion unterstützt verschiedene Formate wie GLB, FBX, GeoTIFF, PNG, JPEG und CityGML. Das Hosting von Cesium ion ist darauf optimiert, sehr große 3D-Datensätze schnell, effizient und sicher bereitzustellen. Mit Cesium Stories können Karten-basierte Präsentationen erstellt und geteilt werden, ohne Code schreiben zu müssen (Cesium, o. D.).

Die finale Visualisierung der 3D-Modelle erfolgt in Cesium, durch den Einsatz von Cesium Stories. Dies ermöglicht die Erstellung einer interaktiven Präsentation, bei der die 3D-Modelle anschaulich dargestellt werden. Zusätzlich können Texte mit Informationen in die Präsentationsfolien integriert werden. Die Benutzer haben die Möglichkeit, die Modelle selbstständig zu erkunden und zu bewegen, was eine dynamische und interaktive Visualisierung bietet. Dabei können sie die Stadt aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten und hinein- und herauszoomen, um Details aus der Nähe zu anzuschauen.

4.2.6 Visual Studio Code

Visual Studio Code ist kostenloser und plattformübergreifender Code-Editor, der von Microsoft entwickelt wurde. Der Editor unterstützt zahlreiche Programmiersprachen und lässt sich durch Erweiterungen individuell anpassen. Mit Funktionen wie Debugging, Git-Integration und einer benutzerfreundlichen Oberfläche wird Visual Studio Code häufig in der Webentwicklung eingesetzt (Visual Studio Code, o. D.). In dieser Arbeit wird das Programm zur Erstellung und Bearbeitung einer Webseite genutzt, die den Vergleich von historischen Luftbildern ermöglicht.

4.3 Umsetzung

In diesem Kapitel wird die genaue Vorgehensweise zur Erstellung und Visualisierung der 3D-Modelle detailliert beschrieben. Schritt für Schritt wird erläutert, welche Methoden eingesetzt wurden, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen.

4.3.1 Bearbeitung der Luftbilder

Die Luftbilder von Garching müssen bearbeitet und zusammengesetzt werden, um eine Luftbildkarte bzw. ein Orthophoto zu erstellen, das als Grundlage für die Modellierung der 3D-Modelle dient. Je nach Jahr werden unterschiedlich viele Luftbilder geliefert: Während für 1945 nur 10 Luftbilder vorliegen, wurden für das Jahr 1970 etwa 50 Bilder bereitgestellt.

Zunächst wird ein Luftbild in Photoshop geöffnet. Um den Bearbeitungsprozess effizienter zu gestalten, wird die Automatisierungsfunktion *Aktionen* genutzt. Dabei wird der Prozess der Bildbearbeitung aufgezeichnet, um ihn anschließend auf alle Bilder des jeweiligen Jahres anwenden zu können. Die Bearbeitung beginnt mit der Aufnahme einer neuen Aktion. Das Luftbild wird optimiert, indem es zugeschnitten und die Helligkeit sowie der Kontrast angepasst werden. Zusätzlich werden die Tiefen und Lichter korrigiert, eine Tonwertkorrektur vorgenommen und die Gradationskurve angepasst. Diese Schritte bleiben für alle Jahre gleich, allerdings variieren die konkreten Werte für Helligkeit, Kontrast und andere Einstellungen je nach Jahr. Nachdem die Bearbeitung abgeschlossen ist, wird die Aufnahme der Aktion beendet. Diese Aktion kann nun auf alle Luftbilder desselben Jahres angewendet werden über die Funktion der Stapelverarbeitung. Da die Luftbilder der verschiedenen Jahre unterschiedlich bearbeitet werden müssen, wird für jedes Jahr eine separate Aktion erstellt. Auf diese Weise können die Luftbilder effizient und konsistent aufbereitet werden.

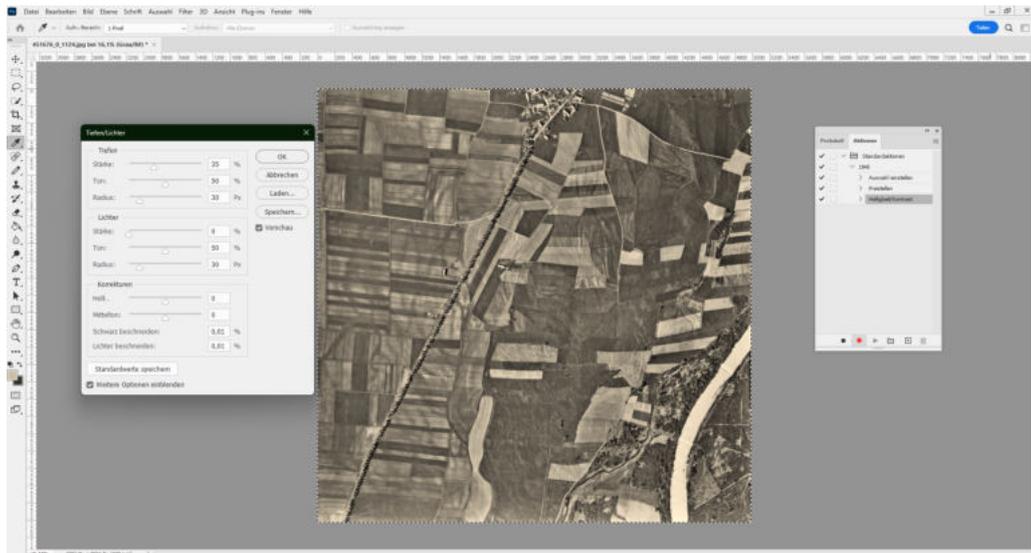


Abbildung 4.9: Bearbeitung des Luftbilds während der Aufnahme einer Aktion

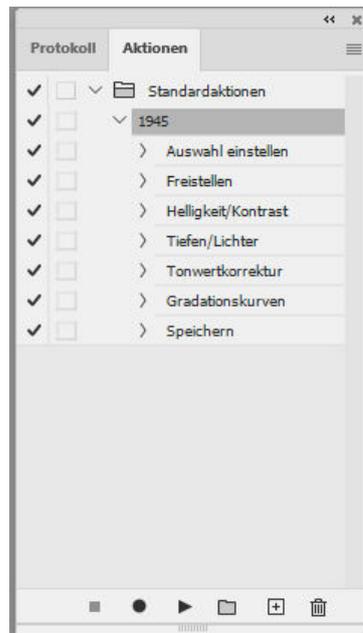


Abbildung 4.10: Schritte der aufgenommenen Aktion

Nachdem die Luftbilder bearbeitet wurden, werden sie im nächsten Schritt mithilfe der Funktion *Photomerge* in Photoshop mosaikiert. Diese Funktion ermöglicht es, mehrere Bilder nahtlos zu einem großen Luftbild zusammenzufügen. Der letzte Schritt besteht darin, im Ebenenfenster alle Ebenen auszuwählen und mit einem Rechtsklick die Option *Hintergrundebene reduzieren* zu wählen. Dieser Schritt wird durchgeführt, um alle Ebenen zu einer einzigen zusammenzuführen, damit die Dateigröße verringert wird. Dadurch kann die Datei schneller gespeichert und effizienter

weiterverarbeitet werden. Die zusammengesetzte Luftbildkarte wird anschließend im TIFF-Format gespeichert.

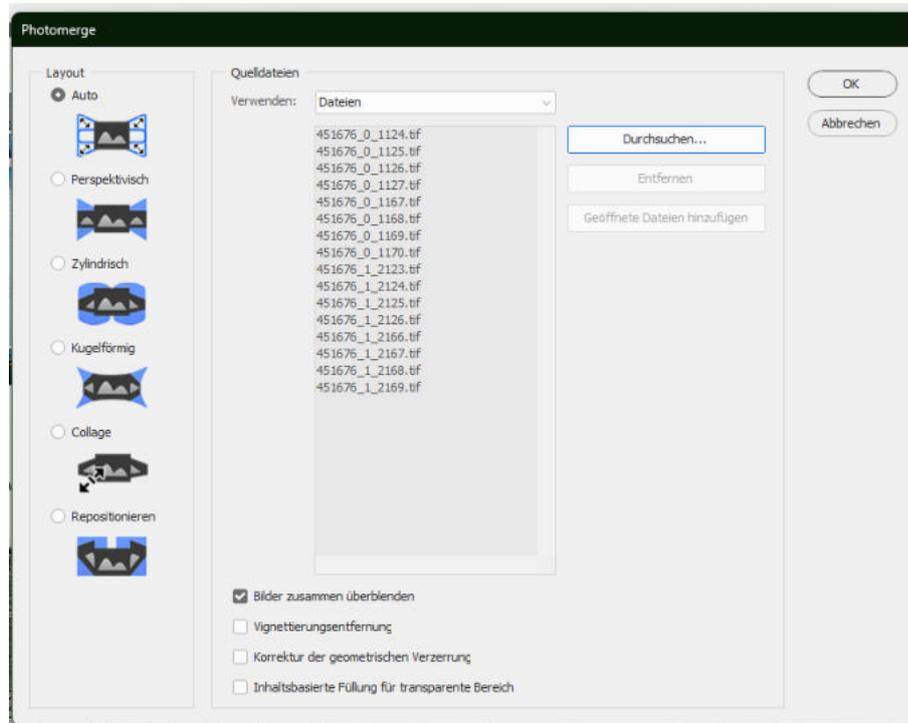


Abbildung 4.11: Zusammenfügen der Luftbilder mit Photomerge

4.3.2 Georeferenzierung der Luftbilder

Georeferenzierung ist der Prozess, bei dem digitalen Kartendarstellungen und anderen Geodaten in ein Landeskoordinatensystem zugewiesen werden. Durch die Georeferenzierung werden die Daten in ihrem tatsächlichen geographischen Kontext korrekt dargestellt und können mit anderen georeferenzierten Daten kombiniert werden (LGL (B), o. D.).

Zunächst werden die Luftbildkarten in ArcGIS Pro geöffnet. Als erster Schritt wird ein Koordinatensystem für das gesamte Projekt ausgewählt, in diesem Fall ETRS 1989 UTM Zone 32N, da alle Daten in diesem Koordinatensystem geliefert wurden. Auch für die Luftbildkarten muss dieses Koordinatensystem ausgewählt werden. Über die Registerkarte *Bilddaten* wird anschließend die Funktion *Georeferenzieren* ausgewählt. Der Georeferenzierungsprozess beginnt dann mit dem Hinzufügen von Passpunkten. Hier wird auf einen Punkt auf der Luftbildkarte geklickt und dann auf den entsprechenden Punkt auf der Hintergrundkarte von ArcGIS Pro. Diese Passpunkte die-

nen als Referenzpunkte zur Korrektur der Position der Luftbildkarte. Für die Georeferenzierung wird die *Spline*-Transformation verwendet, da das Luftbild-Mosaik aus verschiedenen Luftbildern zusammengestellt wurde und die Luftbilder bei der Erstellung des Mosaiks verdreht, verzogen und verzerrt werden. Diese Methode ist besonders geeignet, da sie eine flexible Anpassung der Karte ermöglicht und Verzerrungen minimiert, insbesondere in Gebieten mit komplexen Verzerrungen der Landschaft. Um die *Spline*-Transformation durchzuführen, werden mindestens zehn Passpunkte benötigt. In der Passpunkttafel können die gesetzten Passpunkte selektiert und bei Bedarf verschoben oder gelöscht werden, um die Genauigkeit der Georeferenzierung weiter zu verbessern. Nach den finalen Anpassungen kann die Georeferenzierung der Luftbildkarte gespeichert werden.

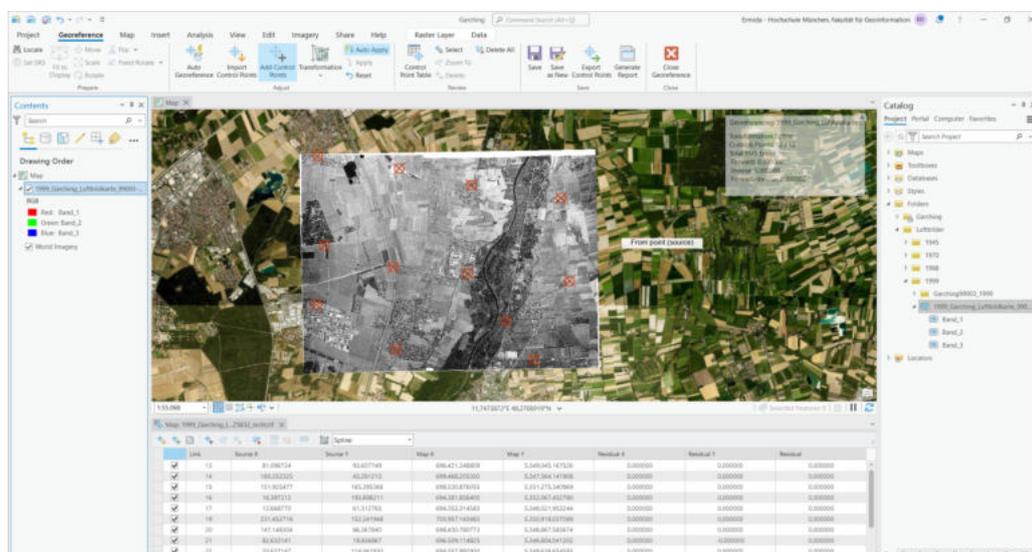


Abbildung 4.12: Georeferenzierung der Luftbildkarte von 1999

Die Georeferenzierung der Luftbildkarte aus dem Jahr 1945 stellt eine besondere Herausforderung dar. Aufgrund der erheblichen Veränderungen in der Landschaft und der Tatsache, dass das Forschungszentrum zu dieser Zeit noch nicht existierte, war es schwierig, geeignete Passpunkte zu finden. Dennoch konnten, wie in Abbildung 4.13 4.5 zu erkennen ist, präzise Passpunkte identifiziert werden, da einige Straßen von 1945 immer noch den heutigen Straßen von 2024 entsprechen. Für die Luftbildkarten der Jahre 1970 und 1999 konnten ausreichend Passpunkte gefunden werden, um eine präzise Georeferenzierung durchzuführen. Die Luftbildkarte von 2022 wurde bereits vom LDBV georeferenziert geliefert, sodass keine weitere Georeferenzierung erforderlich war.

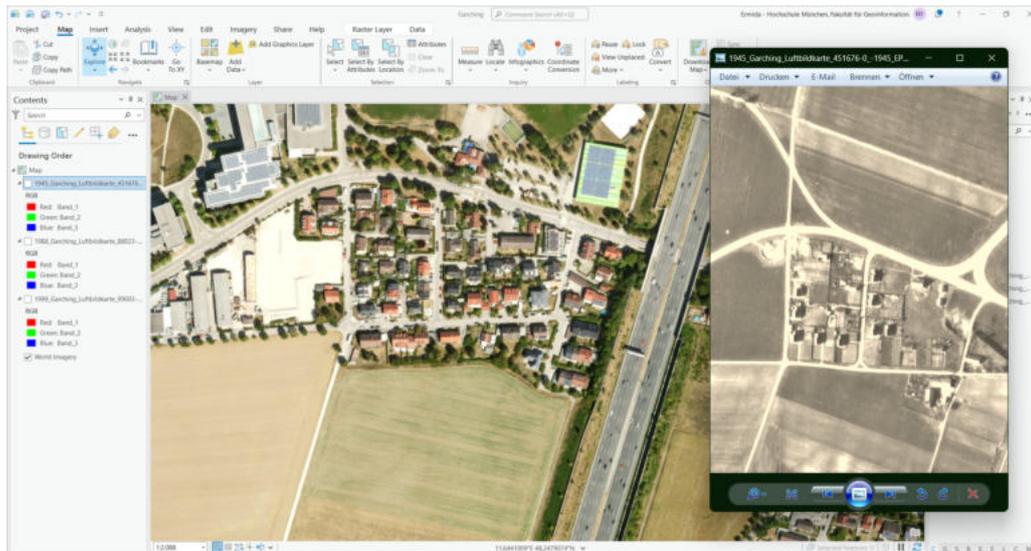


Abbildung 4.13: Vergleich der Straßenstruktur zwischen 1945 und 2024

4.3.3 Zuschneiden der Luftbilder

Nach der Georeferenzierung werden die Luftbildkarten bzw. Orthophotos auf den Bereich zugeschnitten, der für die finale Visualisierung in Cesium erforderlich ist. Hierzu wird in ArcGIS Pro eine Feature Class namens *Maske* mit dem Geometrietyp Polygon erstellt. Für die Symbolisierung wird eine rote Umrandung gewählt, während der Inhalt des Polygons transparent bleibt. Die Maske wird dann über die Luftbilder gelegt, um den Bereich zu definieren, der für die Modellierung tatsächlich verwendet werden soll. Mit dem Werkzeug *Nach Maske extrahieren* werden die Luftbildkarten entlang der Maskenfläche zugeschnitten, sodass nur der benötigte Bereich erhalten bleibt. Dabei wird der Extraktionsbereich auf Innen festgelegt, sodass nur das Innere der Maske beibehalten wird. Das Ergebnis ist eine verkleinerte Luftbildkarte, die nun den relevanten Bereich abdeckt. Abschließend können die zugeschnittenen Luftbildkarten mit Export Raster in verschiedenen Formate wie TIFF, PNG oder JPG exportiert werden.

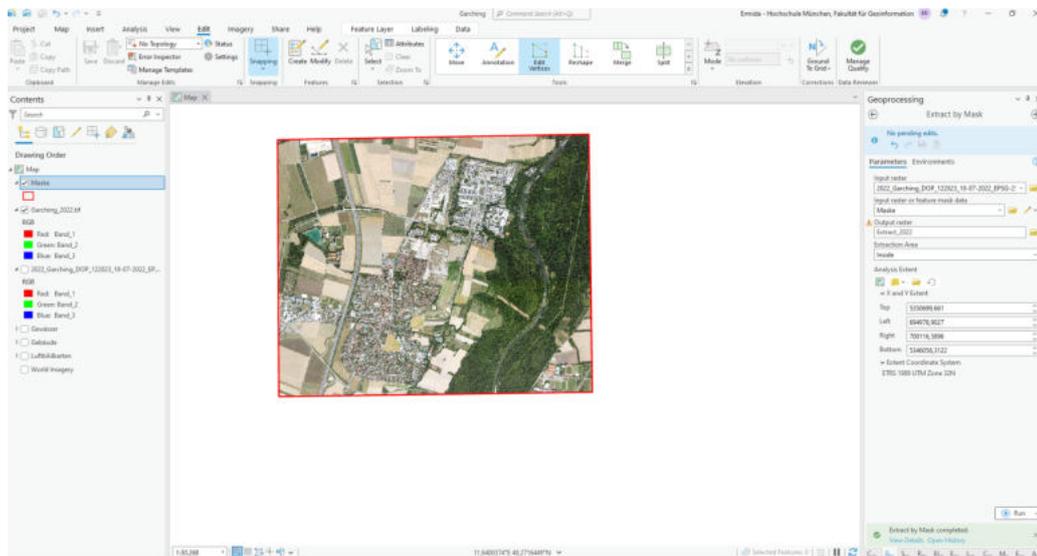


Abbildung 4.14: Nach Maske extrahieren: Nur das Innere der Maske wird beibehalten

4.3.4 Erstellung der Gebäude-Shapefiles

Im nächsten Schritt werden die Gebäudeumrisse basierend auf den Luftbildkarten in ArcGIS Pro erstellt. Hierfür werden neue Feature Classes mit dem Geometrietyp Polygon für die Jahre 1999, 1970 und 1945 angelegt. Die Erstellung der Gebäudeumrisse erfolgt durch die Auswahl der entsprechenden Feature Class und der anschließenden Digitalisierung im Editiermodus mit der Funktion *Create Features*. Mit *Create Features* können Polygone über die Gebäude platziert werden, wodurch die Gebäudegrenzen korrekt abgebildet werden.

Als Erstes werden alle Gebäudeumrisse von 1999 anhand der jeweiligen Luftbildkarte digitalisiert. Für das Jahr 1970 können viele Gebäudeumrisse aus dem Jahr 1999 übernommen werden, da die Stadtstruktur bereits weitgehend etabliert war. Jedoch werden zahlreiche Gebäude gelöscht, da sie 1970 noch nicht existierten. Im Fall des Jahres 1945 gestaltet sich die Übernahme von Gebäudeumrissen besonders schwierig, da die Stadtlandschaft zu dieser Zeit erheblich anders aussah. Nur sehr wenige Gebäudeumrisse konnten aus den späteren Jahren übernommen werden. Die endgültigen Gebäudeumrisse werden als Shapefile exportiert, um sie für die Modellierung der 3D-Modelle nutzen zu können.

4 Umsetzung

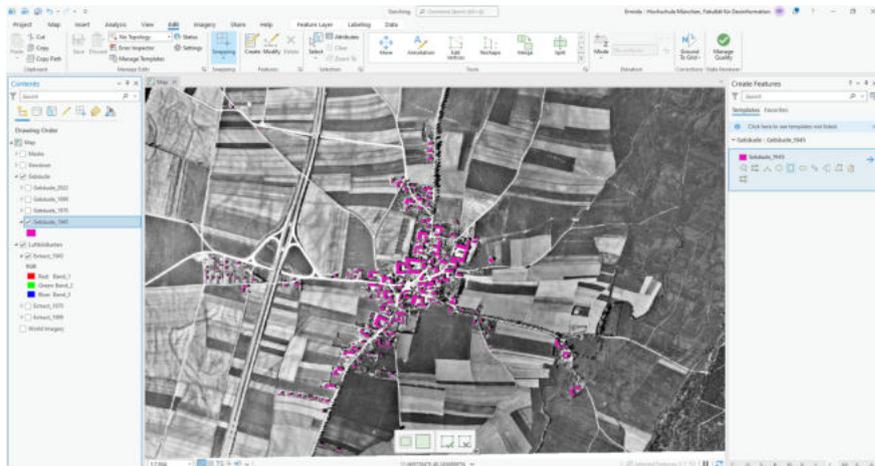


Abbildung 4.15: Digitalisierte Gebäudeumrisse für das Jahr 1945

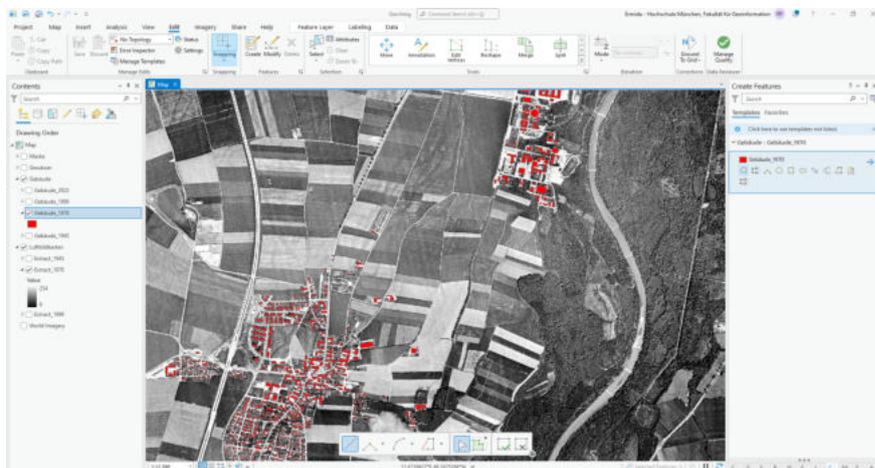


Abbildung 4.16: Digitalisierte Gebäudeumrisse für das Jahr 1970

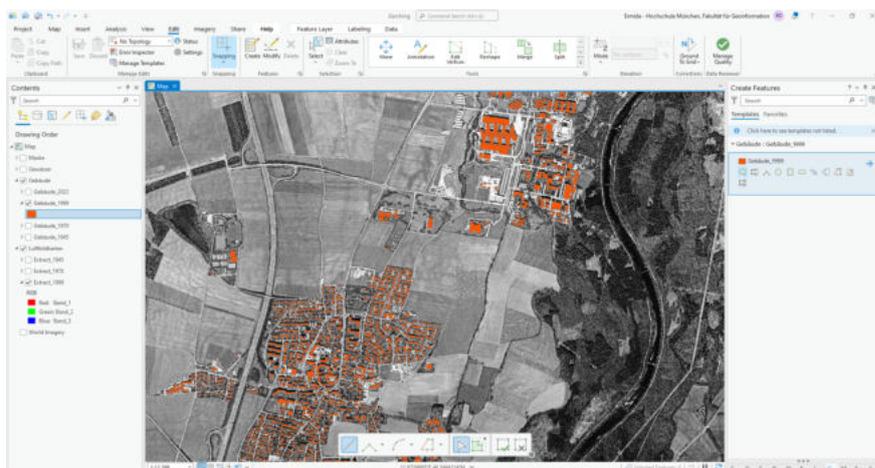


Abbildung 4.17: Digitalisierte Gebäudeumrisse für das Jahr 1999

4.3.5 Zuschneiden des DLM

Die Gewässer-DLM-Daten müssen ebenfalls auf den Bereich zugeschnitten werden, der für die finale Visualisierung in Cesium erforderlich ist. Da es sich um Shapefiles handelt, wird das Werkzeug *Clip* in ArcGIS Pro verwendet. Dazu wird eine neue Feature Class mit dem Namen *Maske_Gewässer* erstellt, mit Geometrietyp Polygon. Mit dieser Maske wird der relevante Bereich der Gewässer-Daten ausgewählt und angepasst, um sicherzustellen, dass nur die benötigten Daten für die Visualisierung verwendet werden.

Die Abbildung 4.4 zeigt die Gewässer-Daten vor der Bearbeitung und die Abbildung 4.18 zeigt sie nach der Bearbeitung. Der Vergleich verdeutlicht die vorgenommenen Anpassungen und die zugeschnittenen Bereiche.

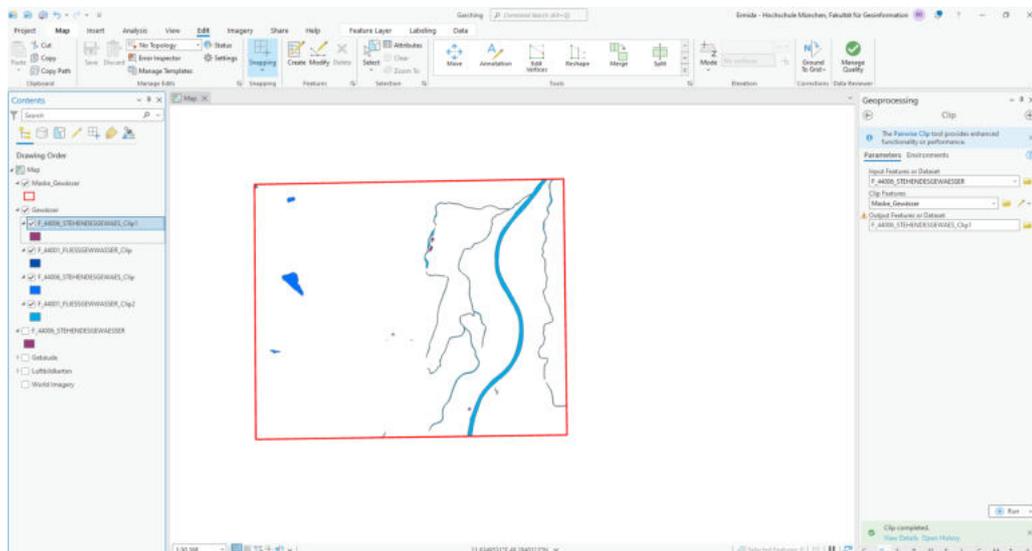


Abbildung 4.18: Basis-DLM für Gewässer nach dem Zuschneiden

4.3.6 Modellierung mit InfraWorks

Im ersten Schritt der Modellierung mit InfraWorks werden vier separate Projekte für die Jahre 1945, 1970, 1999 und 2022 erstellt. Bei der Erstellung jedes Projekts müssen ein Name vergeben und der Speicherort ausgewählt werden. Zudem ist es erforderlich, das Koordinatensystem UTM Zone 32N auszuwählen, um sicherzustellen, dass die georeferenzierten Daten korrekt dargestellt werden. Alle Daten können per Drag-and-Drop in InfraWorks importiert werden. Im nächsten Schritt werden das Digitale Geländemodell sowie die Luftbildkarten für die jeweiligen Jahre in

die Projekte importiert und konfiguriert. Das DGM wird als Gelände und die Luftbildkarten als Geländebilder hochgeladen. Für beide Datentypen wird das Koordinatensystem UTM Zone 32N ausgewählt.

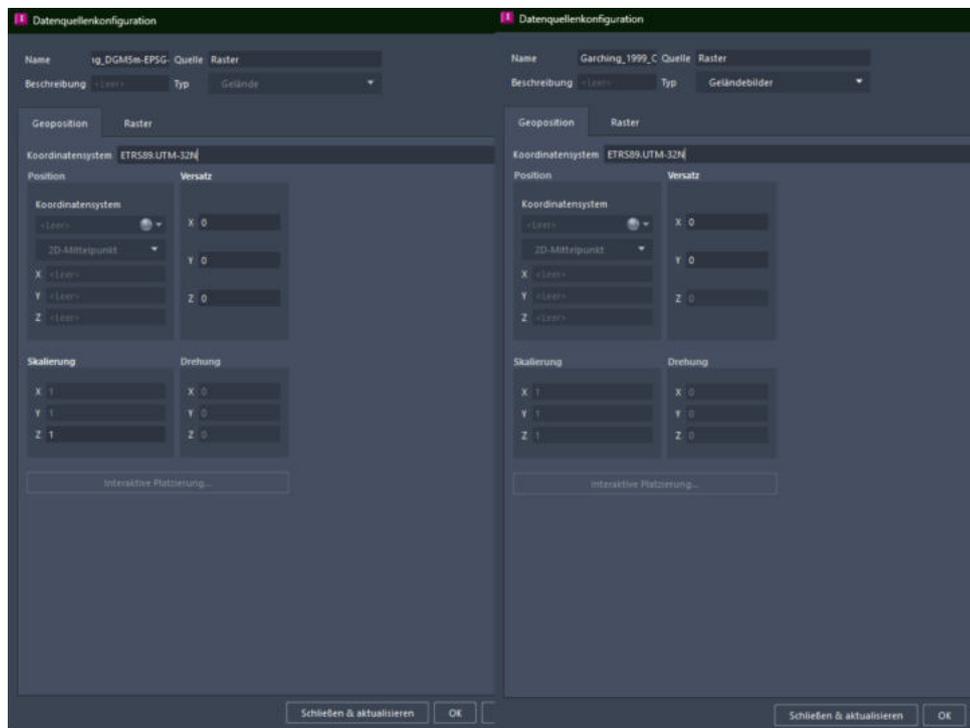


Abbildung 4.19: Import und Konfiguration des DGM und der Luftbildkarten

Anschließend werden die Shapefiles der Gebäudeumrisse für die Jahre 1945, 1970 und 1999 in die entsprechenden Projekte importiert und als Gebäude konfiguriert. Das Koordinatensystem UTM Zone 32N wird von InfraWorks automatisch übernommen, was eine präzise Platzierung der Gebäude ermöglicht. Die Höhe der Gebäude kann manuell eingestellt werden, es wurde eine Standardhöhe von 5 Metern gewählt. Als Nächstes erfolgt die Auswahl der Farben und Materialien für die Gebäude. Die Wände werden in den Farben Grau und Beige dargestellt, während für die Dächer das Material *Spanish Tile Red* ausgewählt wird, um die Dächer mit einer roten Ziegelfarbe zu versehen.

Für das Jahr 2022 wurden vom LDBV 3D-Modelle der Gebäude im Detailierungsgrad LoD2 bereitgestellt, die als relevante Punkte in das InfraWorks-Projekt importiert werden. Diese 3D-Modelle enthalten bereits voreingestellte rote Dächer und verfügen über eine festgelegte Höhe, sodass in InfraWorks keine weiteren Anpassungen bezüglich der Dachfarbe oder Gebäudehöhe erforderlich sind.

4 Umsetzung

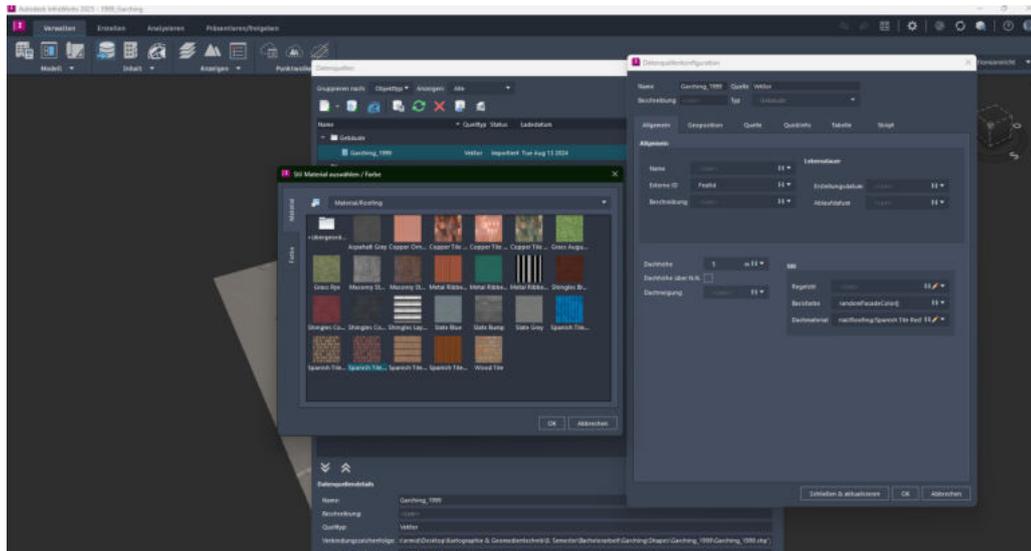


Abbildung 4.20: Import und Materialauswahl der Gebäude-Shapefiles für die Jahre 1945, 1970 und 1999

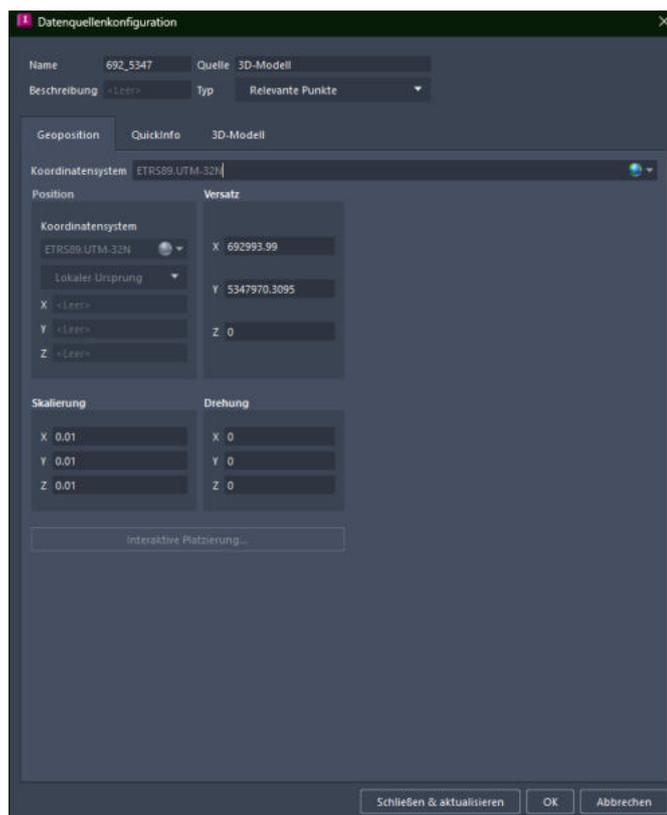


Abbildung 4.21: Import der 3D-Gebäudemodelle für das Jahr 2022 als relevante Punkte

Nach der Konfiguration der Gebäude erfolgt die Modellierung der Straßen in InfraWorks. In der Registerkarte *Inhalt* wird die Stilpalette verwendet, um die Straßen für die verschiedenen Jahre

zu erstellen. Im Bereich *Street* können die Straßen entsprechend den historischen Gegebenheiten modelliert und gespeichert werden.

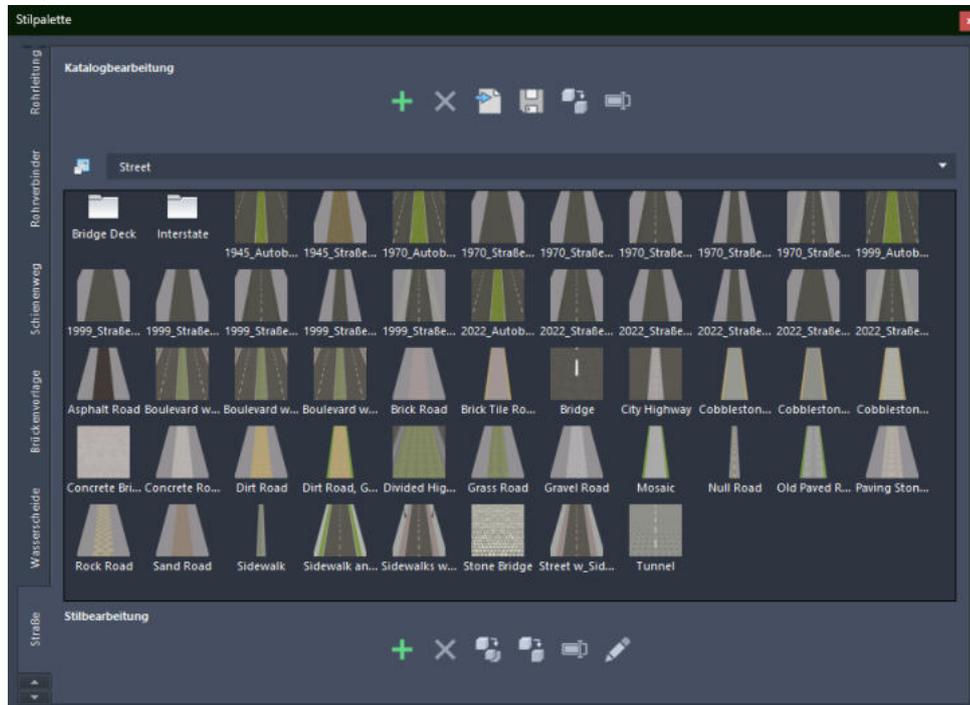


Abbildung 4.22: Stilpalette

Für das Jahr 1945 wird eine zweispurige Autobahn sowie eine einfache, braune Straße modelliert. Im Jahr 1970 wird die Infrastruktur erweitert, indem eine dreispurige Autobahn, eine Straße mit Trennlinie, eine Straße mit Trennlinie und Gehweg sowie drei weitere einfache Straßen ohne Trennlinien, aber in verschiedenen Breiten erstellt werden. Für das Jahr 1999 wird eine vierspurige Autobahn modelliert, während die anderen Straßen den gleichen Typen wie im Jahr 1970 entsprechen. Für das Jahr 2022 wird eine fünfspurige Autobahn hinzugefügt, jedoch bleiben die anderen Straßen wie in den Jahren 1970 und 1999. Alle Autobahnen besitzen eine grüne Fläche in der Mitte, die als Mittelstreifen dient.

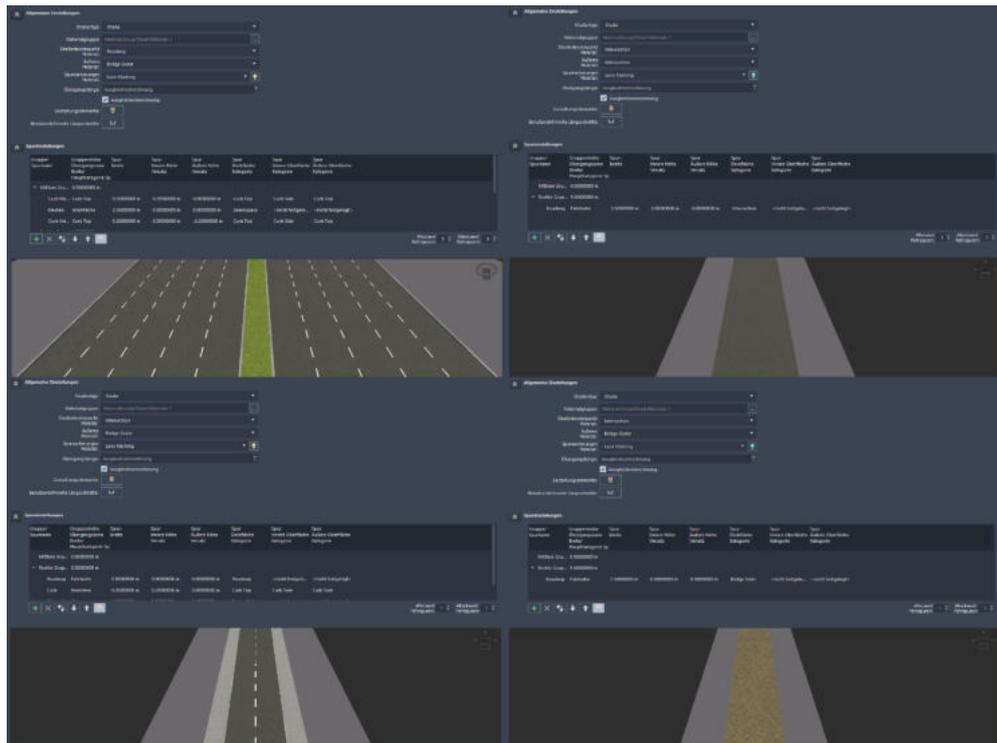


Abbildung 4.23: Straßenmodelle im Vergleich: Autobahn 2022, einfache breite Straße, Straße mit Gehweg und Trennlinie, einfache Straße 1945

Die Straßen werden anhand der Luftbildkarten digitalisiert und über die Registerkarte *Erstellen* und den Bereich Verkehrswesen ausgewählt. Für die zentralen Straßen in der Siedlung wird die Straßenart mit Gehweg und Trennlinie verwendet, um den typischen Stadtbereich realistisch abzubilden. Für breitere Straßen außerhalb des Ortes wird eine Straße ohne Gehweg gewählt, die den äußeren Verkehrswegen besser entspricht. Bei den schmalen Straßen wird geprüft, welche der Straßentypen am besten passt, um die Realität möglichst genau nachzubilden. Bei Bedarf werden die Stützpunkte der Straßen angepasst, um die exakte Geometrie zu gewährleisten. Darüber hinaus kann die Höhe der Straßen verändert werden, um spezielle Merkmale wie Brücken, Unterführungen oder Steigungen korrekt darzustellen. Diese Anpassungen stellen sicher, dass die Straßen in den 3D-Modellen realistisch und präzise wiedergegeben werden.

Die Bäume werden über die Registerkarte *Erstellen* und den Bereich *Umgebung* in InfraWorks hinzugefügt. Es können einzelne Bäume, Baumgruppen oder Baumreihen erstellt werden, um die Vegetation in den Modellen realistisch darzustellen. Für alle Modelle wurde der einfache Baumtyp mit grünen Blättern, Typ T19-V02 Green, ausgewählt, wie in Abbildung 4.24 zu sehen ist.

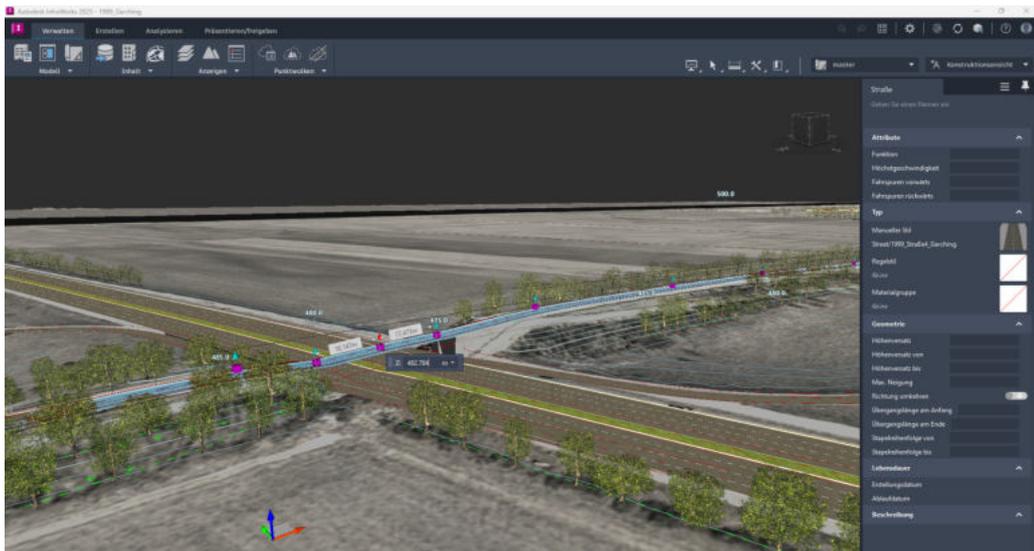


Abbildung 4.24: Modellierung der Straßen und Anpassung der Höhe

Im nächsten Schritt wird das Gewässer-DLM im Shapefile-Format in allen Projekten importiert und konfiguriert. Die Daten werden als Wasserfläche hochgeladen und das Koordinatensystem UTM Zone 32N wird automatisch übernommen. Für die Darstellung wird der Stil *DefaultWasser* ausgewählt, um eine realistische Darstellung der Wasserflächen im Modell zu gewährleisten.

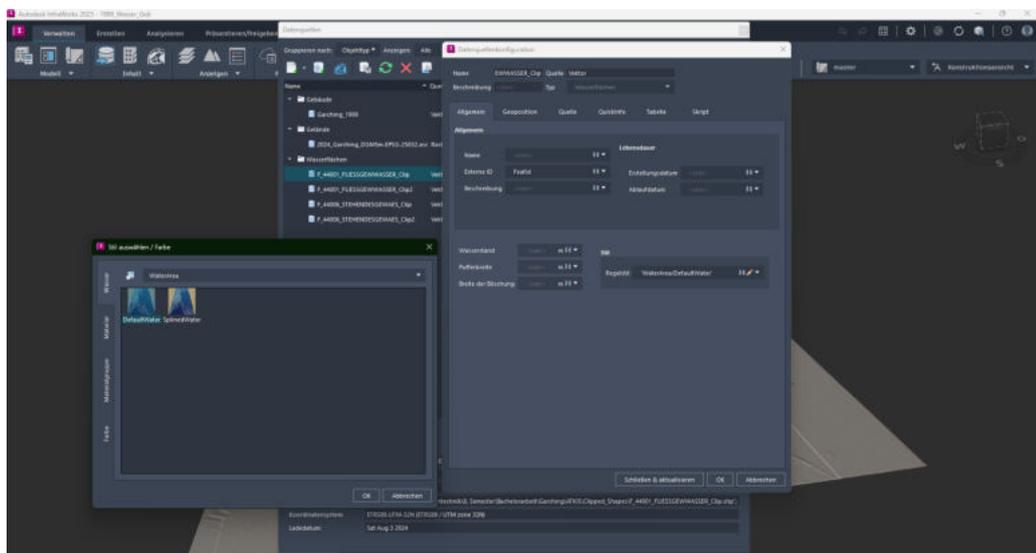


Abbildung 4.25: Import und Konfiguration des Gewässer-DLM

Nach Abschluss der Modellierung können alle Bestandteile der Projekte exportiert werden. Über die Registerkarte *Präsentieren/Freigeben* wird die Option *3D-Modell exportieren* ausgewählt. Dabei sollte der Exportbereich interaktiv als Polygon oder BBox definiert werden, um sicherzu-

stellen, dass die Koordinaten der Grenzen korrekt übernommen werden. Es ist ratsam, mehrere Dateien auszuwählen, sodass Gelände, Straßen und Bäume als separate Dateien gespeichert werden. Der Export erfolgt im FBX-Format, was eine flexible Weiterverarbeitung der Modelle ermöglicht.

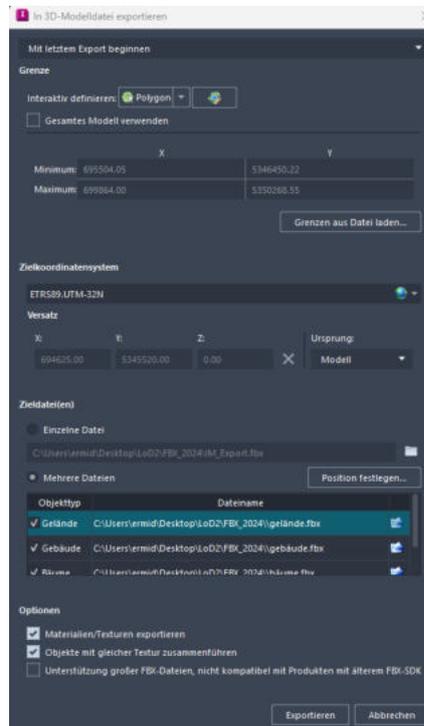


Abbildung 4.26: Export der 3D-Modelle im FBX-Format

4.3.7 Export mit 3ds Max

Der Einsatz von 3ds Max ist in diesem Schritt notwendig, da der direkte Import der aus InfraWorks exportierten Modelle (Gebäude, Straßen, Gewässer), im FBX-Format in Cesium nicht erfolgreich ist. Obwohl die Modelle mit Koordinaten exportiert wurden und Cesium das FBX-Format unterstützt, wurden die Elemente nicht korrekt positioniert. Wenn beispielsweise die Gebäude im Süden von Garching korrekt positioniert werden, erscheinen die Modelle im Norden oder Osten nicht mehr an der richtigen Stelle. Durch den Umweg über 3ds Max und die Umwandlung der FBX-Modelle in das GLB-Format kann die Integration in Cesium jedoch verbessert werden. Bei den Gebäuden treten keine Positionsprobleme mehr auf, und sie werden korrekt angezeigt. Allerdings bestehen bei den Straßen und Gewässern noch Schwierigkeiten, die in Kapitel 5.2 thematisiert werden. Die Bäume konnten hingegen im FBX-Format ohne weitere

Schritte in Cesium visualisiert werden.



Abbildung 4.27: Fehler bei der Platzierung der 3D-Modelle in Cesium: Position der 3D-Modelle stimmt nicht mit den Luftbildkarten überein

Die exportierten 3D-Modelle im FBX-Format werden zunächst in 3ds Max importiert. Anschließend erfolgt die Konvertierung in das GLB-Format, um die Modelle später in Cesium zu visualisieren. Die Modelle werden dabei als Game Engine durch den Real-Time Exporter exportiert. Bei den Straßen und Gewässern muss ein Mesh gelöscht werden, um sicherzustellen, dass das Hintergrund-DGM nicht mit exportiert wird.

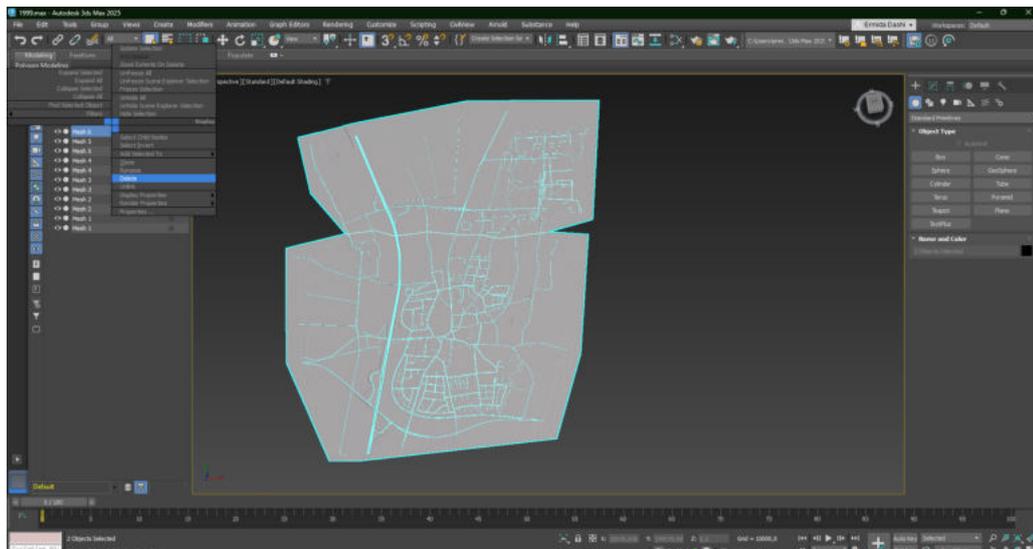


Abbildung 4.28: Entfernen des DGM-Mesh, um den Export der Straßen zu ermöglichen

Für die Gebäude der Jahre 1945, 1970 und 1999 ist kein weiterer Schritt notwendig; diese können

direkt exportiert werden. Bei den Gebäuden des Jahres 2022 sind jedoch zusätzliche Anpassungen erforderlich. Da nicht alle Gebäude für die Visualisierung benötigt werden, müssen die nicht relevanten Gebäude gelöscht werden. Dazu werden die entsprechenden Modelle selektiert und in der Modifier-List auf *Editable Mesh* und *Polygon* gesetzt. Die nicht benötigten Gebäude werden dann entfernt. Abschließend erfolgt der Export dieser bearbeiteten 3D-Modelle mit dem Real-Time Exporter.

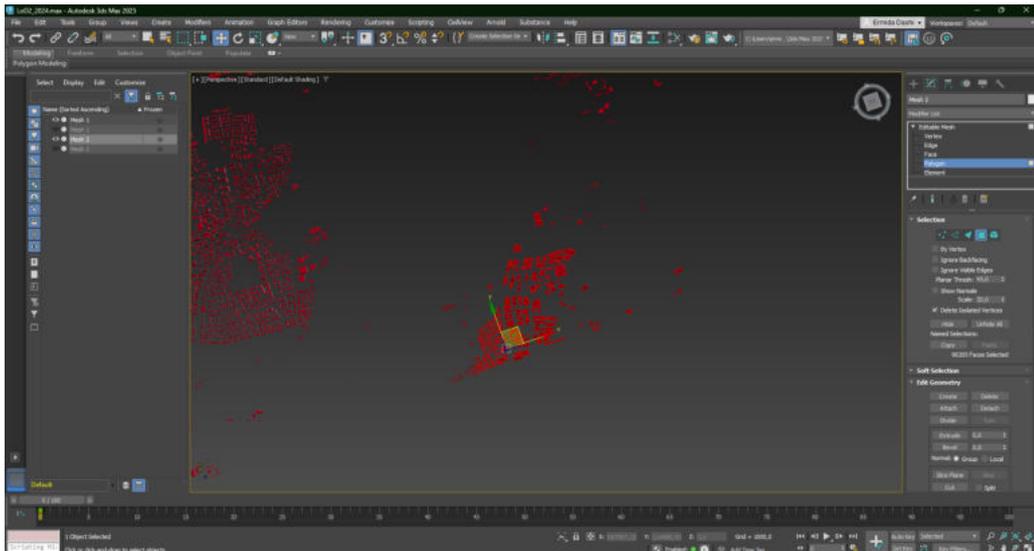


Abbildung 4.29: Entfernen der Gebäude als Editable Mesh

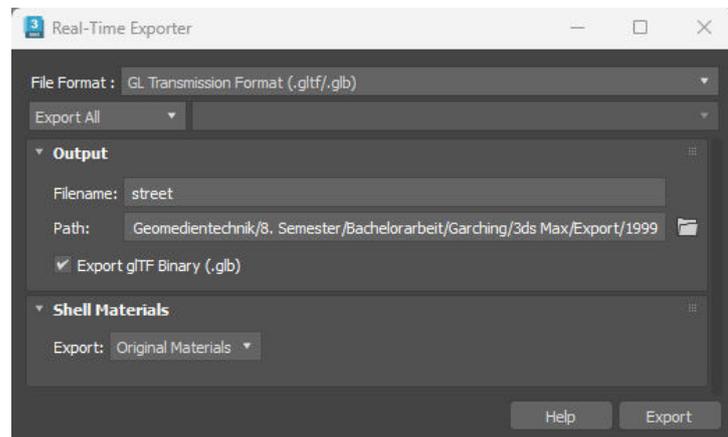


Abbildung 4.30: Exportieren der 3D-Modelle im GLB-Format mit dem Real-Time Exporter

4.3.8 Visualisierung mit Cesium

Um Cesium zu nutzen, muss man sich zunächst registrieren und ein Benutzerprofil anlegen. Nach dieser Anmeldung kann man sofort beginnen. Im Reiter *Stories* lassen sich Präsentationen erstellen, während im Reiter *My Assets* Daten importiert, verwaltet und gelöscht werden können. Cesium bietet kostenlos 5 GB Speicherplatz, was für dieses Projekt ausreicht.

Zunächst wird eine neue Story mit fünf Slides erstellt. Die erste Slide dient der Überschrift und enthält eine Collage aus vier Luftbildkarten von Garching als Hintergrundbild. Als allgemeine Überschrift wurde "Historische Stadtentwicklung von Garching bei München ausgewählt". Die weiteren vier Slides sind nach den Jahren 1945, 1970, 1999 und 2022 benannt und stellen die 3D-Stadtmodelle dieser Jahre vor.

Der nächste Schritt ist der Import der Daten, der entweder über den Reiter *My Assets* und die Option *Add Data* oder direkt beim Bearbeiten der Präsentation durch Klicken auf *Add Asset* erfolgen kann. Die importierten Daten erscheinen als Layer, die ein- und ausgeschaltet sowie in ihrer Reihenfolge angepasst werden können, um die Sichtbarkeit der Elemente zu steuern.



Abbildung 4.31: Story Erstellung: Reihenfolge der importierten Daten anpassen

Die Luftbildkarten werden als TIFF-Dateien importiert und als Imagery in Cesium eingebunden. Bäume werden als FBX-Dateien und Straßen, Wasser sowie Gebäude als GLB-Dateien importiert und anschließend in Cesium in 3D Tiles konvertiert. Danach erfolgt die präzise Positionierung der Elemente mithilfe der Funktion *Adjust Tileset Location*, bei der Longitude (geografische Länge), Latitude (geografische Breite), Height (Höhe), Rotation (Drehung) und Scale (Skalierung) angepasst werden können.

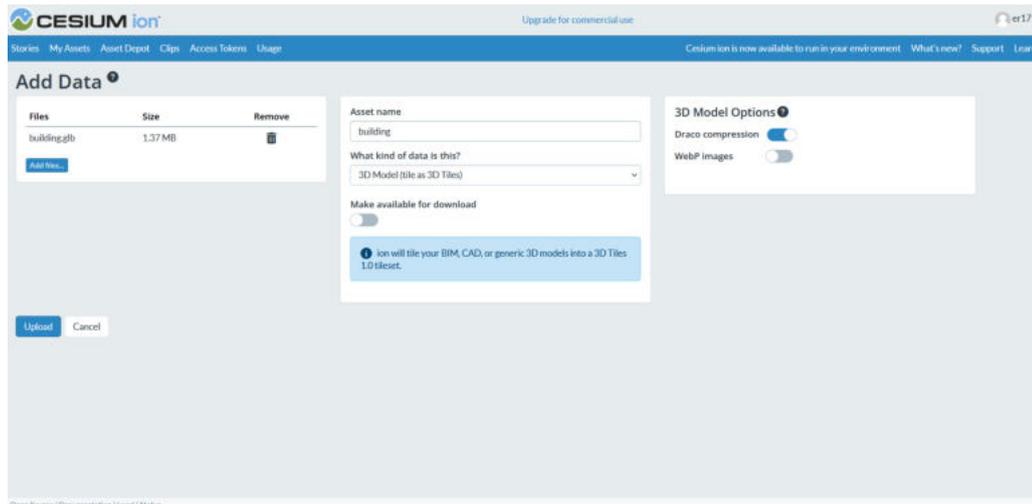


Abbildung 4.32: Datenimport und Konvertierung in 3D Tiles



Abbildung 4.33: Positionierung der 3D-Modelle

The screenshot shows the Cesium 'My Assets' interface. On the left, there is a table with columns for 'ID', 'Name', 'Type', 'Size', and 'Date'. The table lists various assets such as 'cesium101', 'cesium102', etc. On the right, there is a map view showing a 3D model of a building on a terrain. The map is titled 'Building024' and includes a search bar and a 'Share' button. Below the map, there are several input fields and a 'Share' button.

Abbildung 4.34: Verwaltung der Daten im Reiter *My Assets*

Als Hintergrund für die Bereiche außerhalb der Luftbildkarten wird Bing Maps Aerial mit hoher Transparenz ausgewählt, um den Fokus auf die 3D-Modelle zu legen. Die Dauer der einzelnen Slides kann nach Bedarf angepasst werden. Zu jedem Slide kann ein kleiner Text in der Infobox eingefügt werden, der auch formatiert werden kann, z.B. fett, kursiv oder als Liste, um Informationen übersichtlich zu präsentieren. Zudem bietet die Präsentation die Möglichkeit, interaktive Elemente wie Zoom oder das Messen von Entfernungen zu nutzen, um die historischen Veränderungen im Detail zu erkunden. Die Präsentation kann über einen Link geteilt werden und es ist kein Cesium-Account erforderlich, um sie anzuschauen, was den Zugang für ein breiteres Publikum erleichtert.

Die detaillierten Schritte für die Visualisierung mit Cesium sind in der Anleitung für Cesium beschrieben, die als Anhang am Ende dieser Arbeit zu finden ist.

4.3.9 Webseitenerstellung mit HTML/CSS und JavaScript

In diesem Kapitel werden die Codeabschnitte erläutert, die bearbeitet (Abbildung 4.35) oder neu hinzugefügt (Abbildung 4.36) wurden.

Im `<body>`-Bereich des HTML-Codes wird eine Sektion definiert, die eine Vergleichsansicht von zwei Luftbildkarten bietet. Diese Ansicht besteht aus zwei nebeneinanderliegenden Karten, von denen eines als untere und das andere als obere Luftbildkarte angezeigt werden. Ein Schieberegler ermöglicht die Anpassung der Überlappung der Bilder. Zusätzlich gibt es zwei

seitliche Auswahlbereiche, in denen die fünf Luftbildkarten zur Auswahl stehen. Die Luftbildkarten sind im Ordner *img/Stadt/Garching* gespeichert und ihre Dateipfade sind in den *value*-Attributen der Radio-Buttons angegeben.

```

75 <div class="slidercontainer" id="bigContainer">
76 <div id="overallWrapper" style="width: 100vw;">
77 
78 <div class="resizableImage" id="resizableContainer">
79 
80 </div>
81 <span class="separatorline" id="handle"></span>
82 <div class="sidebar left5d" id="l5dBar">
83 <h4 class="accordion">Linkes Bild</h4>
84 <div class="img-select" id="leftselect">
85 <label> 1945 Luftbild
86 <input type="radio" name="radioLeft" value="img/Stadt/Garching/Garching_1945.png">
87 <span></span>
88 </label>
89 <label class="selectedCheckbox"> 1970 Luftbild
90 <input type="radio" name="radioLeft" value="img/Stadt/Garching/Garching_1970.png">
91 <span></span>
92 </label>
93 <label> 1988 Luftbild
94 <input type="radio" name="radioLeft" value="img/Stadt/Garching/Garching_1988.png">
95 <span></span>
96 </label>
97 <label> 1999 Luftbild
98 <input type="radio" name="radioLeft" value="img/Stadt/Garching/Garching_1999.png">
99 <span></span>
100 </label>
101 <label> 2022 Luftbild
102 <input type="radio" name="radioLeft" value="img/Stadt/Garching/Garching_2022.png">
103 <span></span>
104 </label>
105 </div>
106 </div>
107
108
109 <div class="sidebar right5d" id="r5dBar">
110
111 <h4 class="accordion">Rechtes Bild</h4>
112 <div class="img-select" id="rightselect">
113 <label class="selectedCheckbox"> 1945 Luftbild
114 <input type="radio" name="radioRight" value="img/Stadt/Garching/Garching_1945.png">
115 <span></span>
116 </label>
117 <label> 1970 Luftbild
118 <input type="radio" name="radioRight" value="img/Stadt/Garching/Garching_1970.png">
119 <span></span>
120 </label>
121 <label> 1988 Luftbild
122 <input type="radio" name="radioRight" value="img/Stadt/Garching/Garching_1988.png">
123 <span></span>
124 </label>
125 <label> 1999 Luftbild
126 <input type="radio" name="radioRight" value="img/Stadt/Garching/Garching_1999.png">
127 <span></span>
128 </label>
129 <label> 2022 Luftbild
130 <input type="radio" name="radioRight" value="img/Stadt/Garching/Garching_2022.png">
131 <span></span>
132 </label>
133 </div>

```

Abbildung 4.35: HTML-Code für die Vergleichsansicht von Luftbildkarten mit Schieberegler

Der JavaScript-Code im *<body>*-Bereich der HTML-Datei verwaltet das dynamische Ändern der Bilder auf der Webseite, die in zwei Bereichen angezeigt werden. Die Funktionen *updateLeftImage* und *updateRightImage* ändern jeweils das obere und das untere Bild, basierend auf der Auswahl der Radiobuttons. Wenn ein Radiobutton ausgewählt wird, wird das entsprechende Bild aktualisiert und der Button als ausgewählt markiert. Event-Listener sorgen dafür, dass bei jeder Änderung der Radiobuttons die entsprechenden Bilder aktualisiert werden und die Markierung der Buttons aktualisiert wird.

```
138 <script>
139 // Funktion zum Ändern des linken Bildes und Markieren des ausgewählten Buttons
140 function updateLeftImage() {
141     const selectedLeftImage = document.querySelector('input[name="radioLeft"]:checked').value;
142     document.getElementById('resizableImg').src = selectedLeftImage;
143
144     document.querySelectorAll('input[name="radioLeft"]').forEach(radio => {
145         radio.parentElement.classList.toggle('selectedCheckbox', radio.checked);
146     });
147 }
148
149 // Funktion zum Ändern des rechten Bildes und Markieren des ausgewählten Buttons
150 function updateRightImage() {
151     const selectedRightImage = document.querySelector('input[name="radioRight"]:checked').value;
152     document.getElementById('lowerImg').src = selectedRightImage;
153
154     document.querySelectorAll('input[name="radioRight"]').forEach(radio => {
155         radio.parentElement.classList.toggle('selectedCheckbox', radio.checked);
156     });
157 }
158
159 // Event-Listener für Änderungen an den Radiobuttons links
160 document.querySelectorAll('input[name="radioLeft"]').forEach(radio => {
161     radio.addEventListener('change', updateLeftImage);
162 });
163
164 // Event-Listener für Änderungen an den Radiobuttons rechts
165 document.querySelectorAll('input[name="radioRight"]').forEach(radio => {
166     radio.addEventListener('change', updateRightImage);
167 });
168 </script>
169 </body>
```

Abbildung 4.36: JavaScript-Code: Dynamisches Aktualisieren der Bilder und Markieren der Auswahloptionen

5 Zusammenfassung

Dieses Kapitel fasst die zentralen Erkenntnisse der Arbeit zusammen. Im Kapitel *Ergebnisse* (5.1) wird die historische Stadtentwicklung von Garching bei München anhand der Luftbildkarten und 3D-Visualisierungen verglichen. Es werden auch konkrete Ergebnisse vorgestellt, wie die Erstellung der interaktiven Präsentation mit Cesium, die Anleitung zur Nutzung von Cesium sowie die Webseite zum Vergleich der historischen Luftbildkarten. Im anschließenden Kapitel *Diskussion* (5.2) werden die während der Umsetzung aufgetretenen Probleme erläutert. Es werden die Vor- und Nachteile des Einsatzes von Cesium für die 3D-Visualisierung thematisiert, bevor ein abschließendes Fazit zur gesamten Arbeit gezogen wird.

5.1 Ergebnisse

Beim Vergleich der Luftbildkarten von Garching aus den Jahren 1945, 1970, 1988, 1999 und 2022 wird der Wandel in der städtischen Entwicklung und Infrastruktur deutlich sichtbar. Auf der Luftbildkarte von 1945 ist eine kompakte und kleine Siedlungsstruktur zu erkennen, die überwiegend von landwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben ist. Die Bebauung konzentriert sich hauptsächlich auf das Ortszentrum, während die umliegenden Gebiete fast ausschließlich landwirtschaftlich genutzt werden. Es bestehen nur wenige Straßenverbindungen, die den Ort mit dem Umland verbinden, und die vorhandene Infrastruktur ist eher einfach gehalten. Bereits ab 1935 wurde die Autobahn München-Nürnberg gebaut, mit einer direkten Ausfahrt, die das Dorf an das Verkehrsnetz anbindet (Stadt Garching b. München, o. D.).

Im Vergleich zur Luftbildkarte von 1945 zeigt die Luftbildkarte von 1970 eine deutliche Expansion der Siedlungsfläche. Sowohl die Anzahl als auch die Dichte der Gebäude haben zugenommen, was auf das starke Bevölkerungswachstum und die fortschreitende Urbanisierung in dieser Zeit hinweist. Auch das Straßennetz wurde ausgebaut, was eine bessere Anbindung an die umliegenden Gebiete ermöglicht. Obwohl landwirtschaftliche Flächen weiterhin vorhanden sind, wurden sie zugunsten

der städtischen Entwicklung teils zurückgedrängt. Die Entstehung des Forschungszentrums im Nordosten unterstreicht die wachsende Bedeutung Garchings als Wissenschaftsstandort. Der Bau des Forschungszentrums begann bereits 1957 mit der Errichtung des ersten deutschen Atom-Forschungsreaktors und prägte die Entwicklung Garchings in den folgenden Jahrzehnten maßgeblich (Stadt Garching b. München, o. D.).

Auf der Luftbildkarte von 1988 zeigt sich Garching als eine im Vergleich zu den 1970er Jahren weiter gewachsene Stadt. Die Wohnbebauung hat sich besonders im Osten und Norden ausgedehnt, mit klar strukturierten Wohnsiedlungen und einem gut ausgebauten Straßennetz. In der Nähe der Autobahnanschlüsse sind zudem neue industrielle und gewerbliche Ansiedlungen entstanden, die den verbesserten Zugang zu anderen Regionen nutzen. Das Forschungszentrum hat sich nach Westen hin mit neuen Gebäuden erweitert. Obwohl landwirtschaftlich genutzte Flächen in der Umgebung weiterhin bestehen, müssen sie zunehmend Neubauten und infrastrukturellen Entwicklungen Platz machen. Zudem wurden am Garchinger See neue Sportanlagen errichtet.

Die Luftbildkarte von 1999 zeigt ebenfalls das anhaltende Wachstum von Garching. Die Stadt hat sich insbesondere im Nordosten mit neuen Wohngebieten weiter ausgedehnt, was auf die fortschreitende Urbanisierung hinweist. Gleichzeitig bleiben die städtischen Grünflächen und Erholungsgebiete erhalten. Auch das Forschungszentrum hat sich vergrößert, indem im Südwesten neue Gebäude errichtet wurden. Zwischen 1988 und 1999 wurden die Autobahnanbindungen erweitert, und es ist eine zunehmende Vernetzung des Stadtgebiets mit der Umgebung zu beobachten. Die neue Autobahnanschlussstelle Garching-Süd verbindet die Bundesstraße 471, die München umgeht, und verbessert so die Anbindung an das Münchener Umland.

Auf der Luftbildkarte von 2022 erscheint Garching als eine vollständig entwickelte Stadt mit einem stark ausgebauten Forschungs- und Wissenschaftsstandort. Der städtische Raum hat sich weiter verdichtet, und die verbleibenden landwirtschaftlichen Flächen im unmittelbaren Umland wurden weiter reduziert. Grün- und Erholungsflächen spielen eine zentrale Rolle und wurden gezielt in die moderne Stadtplanung integriert. Neue Straßen im Umland verbessern die Verkehrsanbindung. Durch die Fertigstellung der U-Bahn-Haltestelle Garching Forschungszentrum im Jahr 2006 konnten die öffentlichen Verkehrsmittel in Garching deutlich verbessert werden (Stadt Garching b. München, o. D.). Diese Anbindung unterstützt die Vernetzung mit München und erleichtert den Zugang zum Forschungszentrum.



Abbildung 5.1: Luftbildkarte von Garching bei München (1945)



Abbildung 5.2: Luftbildkarte von Garching bei München (1970)



Abbildung 5.3: Luftbildkarte von Garching bei München (1988)



Abbildung 5.4: Luftbildkarte von Garching bei München (1999)



Abbildung 5.5: Luftbildkarte von Garching bei München (2022)

Folgender Graph zur Bevölkerungsentwicklung Garchings von 1900 bis 2022 zeigt eine kontinuierliche Zunahme der Bevölkerung. Die Entstehung und Ausweitung des Forschungszentrums und des Gewerbegebiets führten dazu, dass Garching immer größer wurde. Die steigende Bevölkerungszahl spiegelt sich direkt in der Expansion der Siedlungsflächen und der Infrastruktur wider.

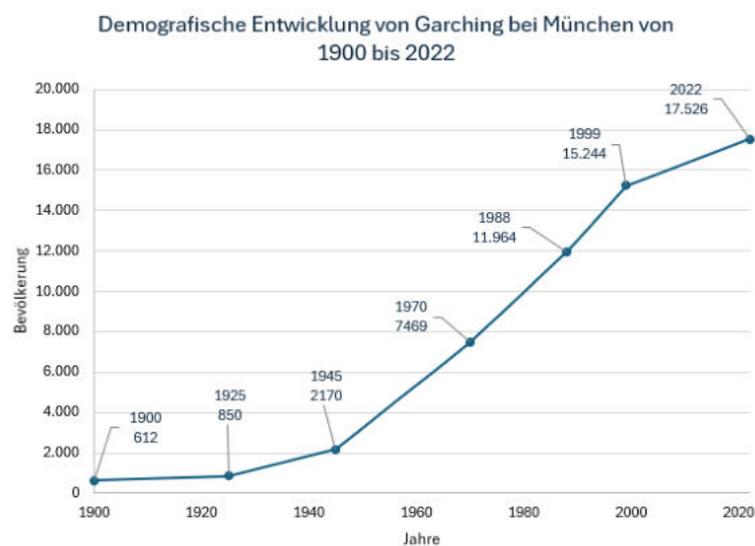


Abbildung 5.6: Demographische Entwicklung von Garching bei München von 1900 bis 2022 (LfStat (o. D.), LfStat (2019), Müller (2020))

5.1.1 Historische Stadtentwicklung von Garching bei München als Cesium-Story

Mit der Plattform Cesium wurde eine interaktive Präsentation zur historischen Stadtentwicklung von Garching bei München erstellt. Diese Cesium-Story bietet eine Kombination aus historischen Luftbildkarten und 3D-Stadtmodellen, die die Veränderungen im Stadtbild über die Jahre verdeutlichen. Die Cesium-Story ist über diesen **Link** abrufbar.

Nach der ersten Seite mit dem Titel folgen vier weitere Slides, die die Jahre 1945, 1970, 1999 und 2022 präsentieren. Jedes dieser Slides enthält eine Informationsbox, in der unter anderem Angaben zur Einwohnerzahl von Garching im jeweiligen Jahr zu finden sind. Die Nutzer können in den Slides rein- und rauszoomen, die Stadtansicht drehen sowie Messungen vornehmen. Unten rechts in der Story sind die Koordinaten, die Höhe und die Maßstabsleiste zu finden, und ein Button ermöglicht die Darstellung im Vollbildmodus. Gebäude, Straßen und Gewässer sind sofort sichtbar, während die Bäume erst beim Hineinzoomen nach kurzer Ladezeit erscheinen. Unten links in der Story gibt es ein Menü, das es ermöglicht, zwischen den verschiedenen Jahren zu wechseln. Zusätzlich können über Pfeile die vorherigen oder nächsten Slides angesteuert werden.



Abbildung 5.7: Die ersten zwei Slides der Cesium-Story: Titel und 1945

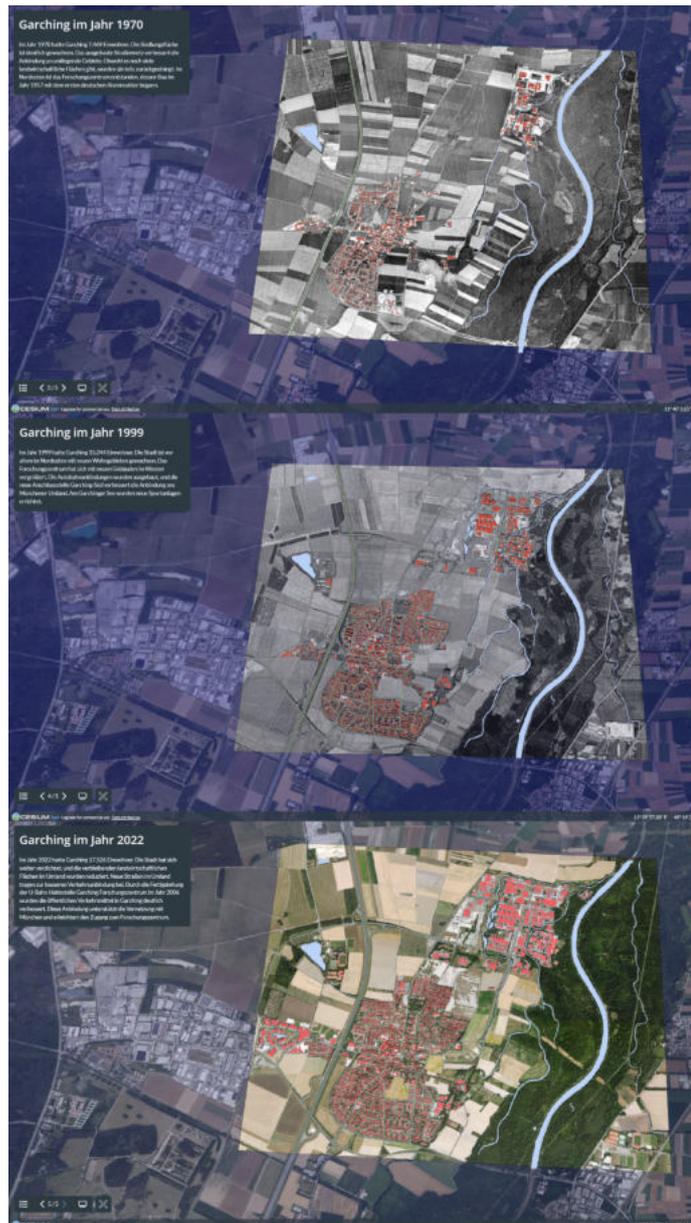


Abbildung 5.8: Die letzten drei Slides der Cesium-Story: 1970, 1999 und 2022

5.1.2 Anleitung für Cesium

Am Ende dieser Arbeit befindet sich eine Anleitung zur Nutzung von Cesium, die erstellt wurde, um den Einsatz der Plattform für zukünftige Projekte zu erleichtern. Die Anleitung beschreibt Schritt für Schritt, wie eine solche interaktive Präsentation erstellt werden kann. Alle Schritte, von der Registrierung bis hin zur finalen Präsentation, sind dabei ausführlich mit Bildern erklärt.

5.1.3 Webseite für den Vergleich der historischen Luftbildkarten

Die mit HTML, CSS und JavaScript erstellte Webseite ermöglicht den Vergleich der Luftbildkarten von Garching. Wie in der Cesium Story werden die Luftbildkarten der Jahre 1945, 1970, 1999 und 2022 angezeigt, ergänzt durch eine zusätzliche Luftbildkarte aus dem Jahr 1988. Die Webseite hat ein übersichtliches Design, bei dem die Luftbildkarten auf der linken und rechten Seite ausgewählt werden können, während in der Mitte ein Schieberegler zur Anpassung der Überlappung der Luftbildkarten vorhanden ist. Um die gesamte Luftbildkarte zu sehen, muss nach unten gescrollt werden.

Im Header befindet sich oben rechts das Logo des LDBV, und oben links ein Info-Button, der beim Anklicken einen kurzen Informationstext zu Garching anzeigt. Außerdem gibt es im Header eine Lupe, mit der die Details der Luftbildkarten genauer betrachtet werden können, sowie ein Menü zur Anpassung des Zoomfaktors. Über den Button *Lupe aus* kann man zur Vergleichsansicht zurückkehren.

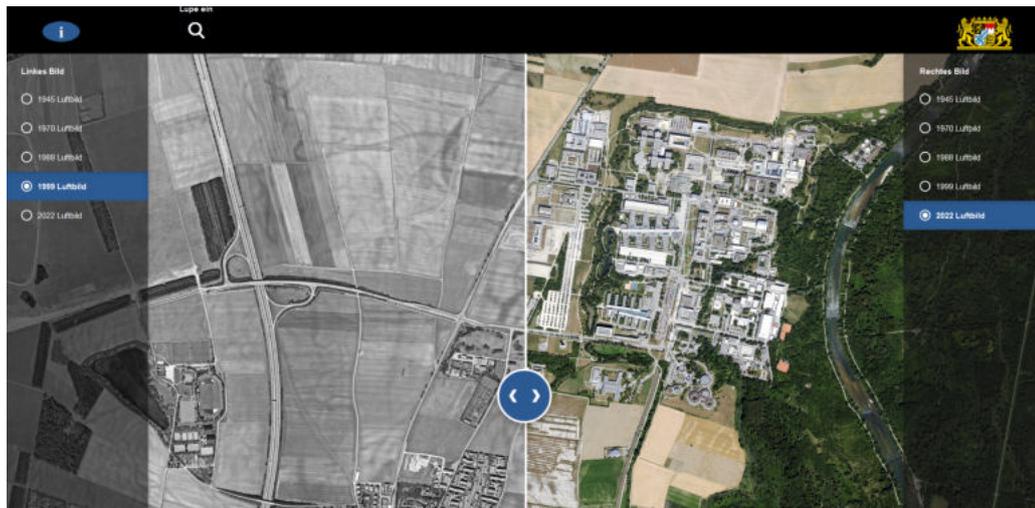


Abbildung 5.9: Webseite für den Vergleich der historischen Luftbildkarten



Abbildung 5.10: Webseite zum Vergleich der historischen Luftbildkarten: Lupe ein

5.2 Diskussion

Wie in Kapitel 4.3.7 erläutert, ist der Einsatz von 3ds Max erforderlich, um die 3D-Modelle erfolgreich in Cesium zu visualisieren. In diesem Schritt wurden die FBX-Dateien in das GLB-Format konvertiert, was eine korrekte Positionierung der 3D-Gebäudemodelle in Cesium ermöglicht. Die Straßen und Gewässer konnten ebenfalls in Cesium importiert und korrekt positioniert werden, allerdings gibt es noch Visualisierungsprobleme, da sie nicht vollständig auf dem Gelände liegen. Wenn sie an einer Stelle korrekt auf dem Gelände liegen, sind sie an anderen Stellen gar nicht mehr sichtbar. Daher ist es unmöglich, dass sie durchgängig korrekt auf dem gesamten Gelände liegen.

Cesium verwendet das Koordinatensystem WGS 84 (EPSG:4326) für das Gelände, während das vom LDBV bereitgestellte DGM das Koordinatensystem WGS 84 / UTM Zone 32N (EPSG:32632) nutzt. Die Straßen und Gewässer wurden auf diesem DGM in InfraWorks modelliert. Der Unterschied in den Koordinatensystemen führt zu dem Visualisierungsfehler in Cesium. DGM-Dateien können in Cesium importiert werden, wenn sie im von Cesium unterstützten Koordinatensystem vorliegen. Daher wurde das Koordinatensystem des DGMs in QGIS geändert. Dennoch konnte das DGM nicht erfolgreich in Cesium importiert werden. Eine Fehlermeldung (Abb. 5.12) besagte, dass das Koordinatensystem fehle oder ungültig sei, obwohl das DGM korrekt umgewandelt wurde.



Abbildung 5.11: Visualisierungsfehler in Cesium: Obwohl die Straßen korrekt positioniert sind, liegen sie nicht vollständig auf dem Gelände

The screenshot shows the Cesium Ion 'My Assets' page. A table lists various assets with columns for ID, Name, Type, Date added, and Size. The asset 'Garching_DGM_5m_EPSG_4326' is highlighted. A red error message is displayed on the right side of the interface, stating: 'We were unable to process your data due to the following issue: Error: Missing or invalid spatial reference system: File: Garching_DGM_5m_EPSG_4326.dgm. Read about what data formats are supported on Cesium Ion.' Below the error message, there is a code block showing the error details: 'viewer: scene: setTerrain: new: (function (name) { Cesium: ExistingTerrainProvider: +function (url) { 2898221; }'.

ID	Name	Type	Date added	Size
2087944	blume2022_2	3D Tiles	11.8.2024	18.04 MB
2086875	blume2022	3D Tiles	10.8.2024	45.44 MB
2086205	blume1999_2	3D Tiles	9.8.2024	14.88 MB
2086004	blume1999	3D Tiles	9.8.2024	42.55 MB
2084499	street1999_2	3D Tiles	9.8.2024	4.55 MB
2084498	street1999	3D Tiles	9.8.2024	10.47 MB
2084402	blume1970_2	3D Tiles	9.8.2024	5.12 MB
2084394	blume1970	3D Tiles	9.8.2024	20.28 MB
2084380	street1970_2	3D Tiles	9.8.2024	3.31 MB
2084379	street1970	3D Tiles	9.8.2024	4.01 MB
2084234	blume1940	3D Tiles	9.8.2024	4.40 MB
2083979	street2022_2	3D Tiles	4.8.2024	5.76 MB
2083973	street2022	3D Tiles	4.8.2024	12.51 MB
2083945	water2022	3D Tiles	4.8.2024	1.50 MB
2083927	Garching_2022	Imagery	4.8.2024	904.01 MB
2083944	building1999_3	3D Tiles	3.8.2024	1.91 MB
2083943	building1999_2	3D Tiles	3.8.2024	1.60 MB
2083940	building1999	3D Tiles	3.8.2024	3.14 MB
2083632	water1970	3D Tiles	3.8.2024	1.37 MB
2083621	water1999	3D Tiles	3.8.2024	1.51 MB

Abbildung 5.12: Fehlermeldung beim Import des DGMs

Trotz dieser Herausforderungen bietet Cesium viele Vorteile für die 3D-Visualisierung. Ein wesentlicher Vorteil ist die Umwandlung von 3D-Daten in 3D-Tiles, die eine effiziente Verarbeitung und schnelle Darstellung großer Geodaten ermöglichen. Cesium unterstützt eine Vielzahl von Dateiformaten, wie GLB, FBX, GeoTIFF und CityGML, was eine hohe Flexibilität bei der Datenverarbeitung bietet. Ein weiterer Vorteil von Cesium ist die Möglichkeit, Daten aus verschiedenen Quellen, wie eigene 3D-Modelle und Karten oder Inhalte von Cesium selbst, zu kombinieren und als einheitliche Visualisierung darzustellen. Darüber hinaus stehen Benutzern 5 GB kostenloser Speicherplatz für das Hosting und Teilen ihrer 3D-Inhalte zur Verfügung, was besonders für kleinere, nicht-kommerzielle Projekte attraktiv ist. Besonders hervorzuheben ist die Benutzerfreundlichkeit von Cesium. Mit den Cesium Stories können interaktive Präsentationen erstellt werden, ohne dass Programmierkenntnisse erforderlich sind. Dadurch können Benutzer 3D-Modelle erkunden, zoomen, verschiedene Blickwinkel einnehmen und die Umgebung aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten. Texte und interaktive Elemente, wie Entfernungsmessungen, machen es zudem leicht, historische oder geografische Entwicklungen zu vermitteln. Ein weiterer Vorteil ist der einfache Zugang zu den Inhalten: Cesium Stories können über Links geteilt werden, ohne dass ein Cesium-Account erforderlich ist. Dies ermöglicht eine unkomplizierte Verbreitung und macht die Inhalte für ein breiteres Publikum leicht zugänglich.

Auf der anderen Seite gibt es jedoch auch einige Nachteile bei der Nutzung von Cesium. Ein zentrales Problem, wie zuvor erläutert, ist die Inkompatibilität verschiedener Koordinatensysteme, die zu Visualisierungsfehlern führen kann. Cesium unterstützt lediglich das Koordinatensystem WGS 84 (EPSG:4326), was die Integration von Daten, die in anderen Koordinatensystemen vorliegen, erschwert. Auch wenn Cesium eine breite Unterstützung für verschiedene Dateiformate bietet, ist es nicht immer einfach, spezifische Formate korrekt zu integrieren, was zusätzliche Arbeitsschritte und Konvertierungen erforderlich macht. Zudem kann die Nutzung von Cesium bei großen Datenmengen durch Speicher- und Leistungsbeschränkungen limitiert sein. Während 5 GB Speicherplatz für kleinere, nicht-kommerzielle Projekte ausreichen, können größere Projekte schnell diese Grenze überschreiten, was zusätzliche Kosten für erweiterte Speicheroptionen erforderlich macht. Ein weiterer Nachteil ist, dass CesiumJS, die Open-Source-JavaScript-Bibliothek von Cesium, bei der Erstellung von Cesium Stories nicht verwendet werden kann. Wäre die Integration von JavaScript möglich, könnten die Möglichkeiten zur Anpassung und Erweiterung der Visualisierungen erheblich verbessert werden.

5.2.1 Fazit

Die Stadtentwicklung Garchings von 1945 bis 2022 konnte durch die Bearbeitung historischer Luftbilder, die Georeferenzierung und die Erstellung der Gebäudeumrisse als Shapefiles mit ArcGIS Pro, die 3D-Modellierung in InfraWorks, die Bearbeitung der 3D-Modelle in 3ds Max und die Visualisierung in Cesium nachvollziehbar rekonstruiert werden. Die begleitende Webseite bietet zudem einen Vergleich der Luftbilder auch ohne 3D-Modelle. Darüber hinaus wurde eine Anleitung für die Nutzung von Cesium erstellt, die den Einsatz der Plattform für ähnliche Projekte unterstützt.

Die interaktive 3D-Visualisierung auf der Plattform Cesium gibt den Nutzern die Möglichkeit, die städtebaulichen Veränderungen über die Jahre aus verschiedenen Blickwinkeln zu erkunden. Auch die historische Verkehrsinfrastruktur konnte mit der heutigen verglichen werden. Ein entscheidender Faktor für die Stadtentwicklung war das starke Bevölkerungswachstum. Mit der zunehmenden Bedeutung Garchings als Forschungsstandort und der Expansion des Gewerbegebiets stieg die Bevölkerung erheblich, was bedeutende Auswirkungen auf die städtebauliche Struktur und Infrastruktur hatte.

Insgesamt wurden die Hauptziele des Projekts erreicht: Es wurde eine funktionierende, interaktive 3D-Darstellung von Garching erstellt, die die städtebaulichen Entwicklungen über sieben Jahrzehnte abbildet. Die verwendete Methodik, unterstützt durch moderne Software, ermöglichte eine präzise und informative Visualisierung.

Trotz des überwiegend erfolgreichen Ergebnisses traten Herausforderungen auf, vor allem bei der korrekten Positionierung der 3D-Modelle in Cesium. Während Gebäude und Bäume korrekt visualisiert werden, bestehen bei Straßen und Gewässern noch Darstellungsprobleme, die den Gesamteindruck beeinträchtigen. Zudem erwies sich die Erstellung der Gebäudeumrisse als Shapefiles als sehr zeitaufwendig.

Diese Herausforderungen bieten jedoch Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungen. Die Optimierung der Positionierung in Cesium könnte zu präziseren und immersiveren Darstellungen historischer Stadtentwicklungen führen. Darüber hinaus wäre die Automatisierung des Prozesses zur Erstellung der Gebäudeumrisse als Shapefile eine Möglichkeit, den Zeitaufwand erheblich zu reduzieren. Auch die Untersuchung anderer Visualisierungssoftware und -plattformen, die möglicherweise besser für spezifische Herausforderungen geeignet sind, könnte wertvolle Erkenntnisse

liefern. Eine Erweiterung der Forschung auf andere Städte und Zeiträume wäre ebenfalls von Interesse, um vergleichende Studien zur Stadtentwicklung zu ermöglichen und allgemeine Trends und Muster in der urbanen Entwicklung zu identifizieren.

6 Literaturverzeichnis

Adobe. (o. D.). Photoshop.

URL: <https://www.adobe.com/de/products/photoshop.html> (abgerufen am 04.07.2024)

Autodesk (A). (o. D.). Autodesk 3ds Max: Erstellen Sie riesige Welten und hochwertige Entwürfe.

URL: <https://www.autodesk.com/de/products/3ds-max/> (abgerufen am 29.07.2024)

Autodesk (B). (o. D.). InfraWorks: Modellieren Sie Gebäude- und Infrastrukturentwurfskonzepte im realen Kontext. URL: <https://www.autodesk.com/de/products/infraworks/> (abgerufen am 04.07.2024)

Bayerisches Landesamt für Statistik. (o. D.). 12411-003r: Bevölkerung: Gemeinden, Geschlecht, Stichtag. Datenbank Verfügbarer Zeitraum: 31.12.1956 - 31.12.2023. URL: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis//online?operation=table&code=12411-003r&by%20pass=true&levelindex=1&levelid=1725899000913#abreadcrumb> (abgerufen am 10.09.2024)

Bayerisches Landesamt für Statistik. (2019). Stadt Garching b.München 09 184 119.

URL: <https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09184119.pdf>, S. 6 (abgerufen am 10.09.2024)

Bayerische Vermessungsverwaltung. (o. D.). 3D-Gebäudemodelle (LoD2).

URL: <https://geodaten.bayern.de/opengeodata/OpenDataDetail.html?pn=lod2> (abgerufen am 02.07.2024)

Cesium. (o. D.). Create and host 3D content in the cloud.

URL: <https://cesium.com/platform/cesium-ion/> (abgerufen am 04.07.2024)

Chenau, A., Murphy, M., Pavía, S., Fai, S., Molnar, T., Cahill, J., Lenihan, S., Corns, A. (2019). A REVIEW OF 3D GIS FOR USE IN CREATING VIRTUAL HISTORIC DUBLIN. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W9. 249-254. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-249-2019.

Esri. (o. D.). Einführung in ArcGIS Pro.

URL: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/get-started/get-started.htm> (abgerufen am 04.07.2024)

Gregory, I. N. & Healey, R. G. (2007). Historical GIS: structuring, mapping and analysing geographies of the past. *Progress in Human Geography*, 31(5), 638-653. DOI:10.1177/0309132507081495

Gonçalves, L., Almeida, A., Falcão, A., Ildefonso, S. (2016). 3D-GIS HERITAGE CITY MODEL: Case study of the Historical City of Leiria. 19th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Helsinki, Finland. URL: https://agile-gi.eu › images › 113_Paper_in_PDF (abgerufen am 26.08.2024)

Günther-Diringer, D. (2016). Historisches 3D-Stadtmodell von Karlsruhe. *j. Cartogr. Geogr. inf.* 66, 66–71. DOI:10.1007/BF03545207

Muñiz, I. O., & García, F. F. (2017). Recent urban development in Gijón (Spain). Historic aerial photography as a tool for sustainability assessment of the process. *Cities*. Volume 67, 1-8. DOI:10.1016/j.cities.2017.04.009

Kahl, T., & Zimmer, F. (2020). Interaktive Datenvisualisierung in Wissenschaft und Unternehmenspraxis. Wiesbaden: Springer Vieweg. DOI: 10.1007/978-3-658-29562-2

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (A). (o. D.). ATKIS®-Basis-DLM. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/atkis-basis-dlm.html> (abgerufen am 02.07.2024)

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (B). (o. D.). Bayernbefliegung. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/luftbild/bayernbefliegung.html> (abgerufen am 01.07.2024)

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (C). (o. D.). Geländemodell. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/gelaende.html> (abgerufen am 01.07.2024)

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (D). (o. D.). Luftbilder. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/luftbild/luftbilder.html> (abgerufen am 01.07.2024)

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (E). (o. D.). Luftbildrecherchestation. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/vermessung/luftbilder/recherchestation.html> (abgerufen am 01.07.2024)

- Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern (F). (o. D.). 3D-Gebäudemodell. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/3d.html> (abgerufen am 02.07.2024)
- Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (A). (o. D.). 3D-Gebäudemodelle (LoD1 und LoD2). URL: https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/3d_geobasi_sdaten/3d_gebaudemodelle/3d-gebaeudemodelle-142891.html (abgerufen am 30.06.2024)
- Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (B). (o. D.). georeferenzieren. URL: https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/wir_uber_uns/hilfe_support/lgln_lexikon/g/georeferenzieren-189841.html (abgerufen am 12.07.2024)
- Martí-Henneberg, J., Morillas-Torné, M., Álvarez-Palau, E.J., Polo-Martin, B. (2023). Urban Morphology in Historical GIS. *Creative Ways to apply Historical GIS*. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-031-21731-9_12
- Müller, M. (2020). Ende und Neuanfang. Das Leben in Garching nach dem Zweiten Weltkrieg. *Stadtspiegel*, S. 12. Förderverein Garchinger Geschichte e.V. URL: <https://www.fgg-garching.de/uploads/2017/01> (abgerufen am 10.09.2024)
- Osgouei, P. E., Sertel, E., Kabadayı, M.E. (2022). Integrated usage of historical geospatial data and modern satellite images reveal long-term land use/cover changes in Bursa/Turkey, 1858–2020. *Sci Rep* 12. DOI:10.1038/s41598-022-11396-1
- Persia, M., Barca, E., Greco, R., Marzulli, M.I., Tartarino, P. (2020). Archival Aerial Images Georeferencing: A Geostatistically-Based Approach for Improving Orthophoto Accuracy with Minimal Number of Ground Control Points. *Remote Sens.* 12(14), 2232. DOI:10.3390/rs12142232
- Sevara, C., Verhoeven, G., Doneus, M. et al. (2018). Surfaces from the Visual Past: Recovering High-Resolution Terrain Data from Historic Aerial Imagery for Multitemporal Landscape Analysis. *J Archaeol Method Theory* 25, 611–642. DOI:10.1007/s10816-017-9348-9
- Stadt Garching b. München. (o. D.). Stadtgeschichte. URL: <https://www.garching.de/stadtportr%C3%A4t-leben/stadtportr%C3%A4t/stadtgeschichte> (abgerufen am 10.09.2024)
- Stamou, A., Stamnas, A., Olga, G., Patias, P. (2011). Study and analysis of urban patterns and urban growth of three different areas in the city of Thessaloniki, Greece using aerial photos,

satellite images and cartographic data. EARsel Conference. Prague, Czech Republic.

URL: <https://www.researchgate.net/publication/260244856> (abgerufen am 26.08.2024)

Visual Studio Code. (o. D.). Code Editing. Redefined.

URL: <https://code.visualstudio.com/> (abgerufen am 15.07.2024)

Anleitung zur Nutzung von Cesium



<https://cesium.com/> im Browser öffnen und auf „OPEN ION“ klicken.

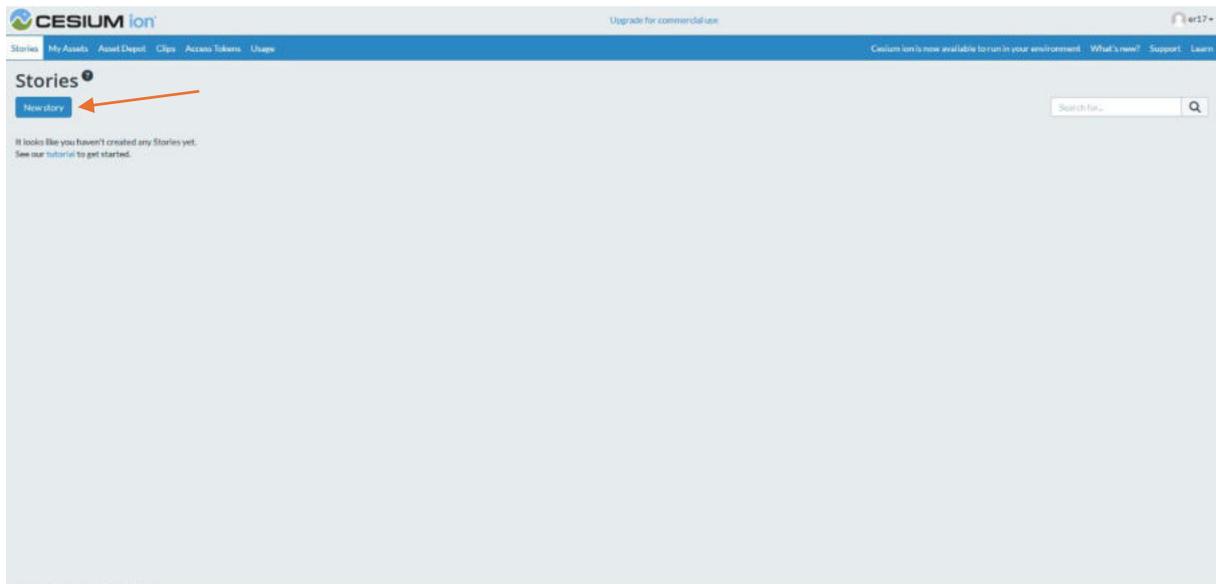


Auf „Sign up for an account“ klicken oder eine andere Sign in-Option auswählen.

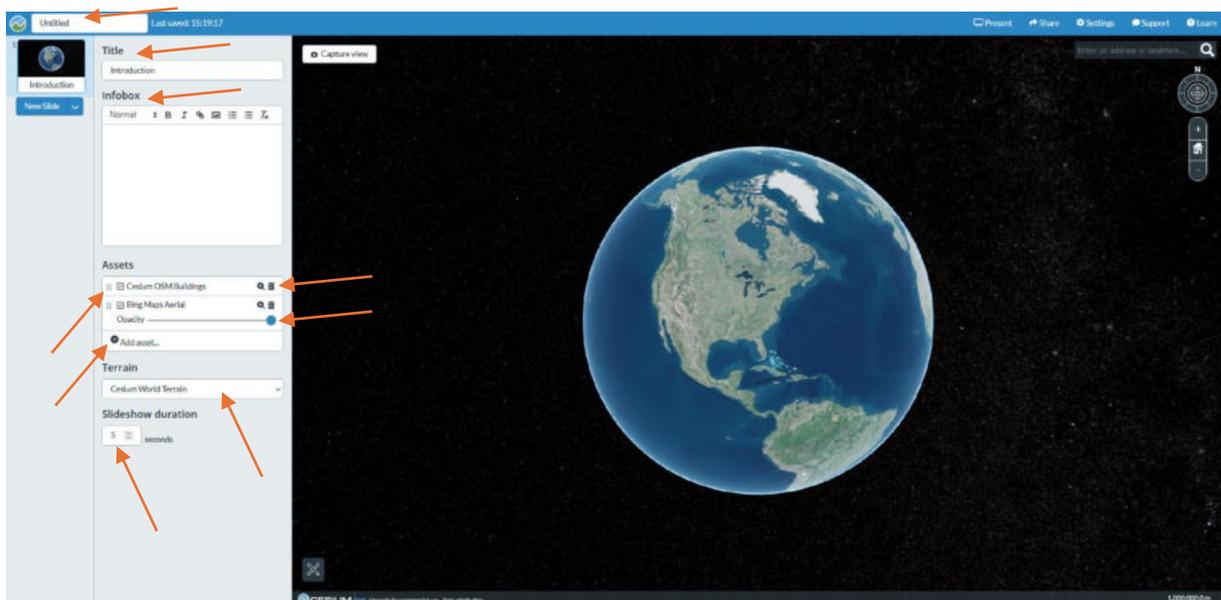
E-Mail Adresse eingeben und auf „Next“ klicken.



Benutzername, E-Mail und Passwort eingeben und auf „Sign up“ klicken.



In der Ansicht „Stories“ auf „New Story“ klicken.



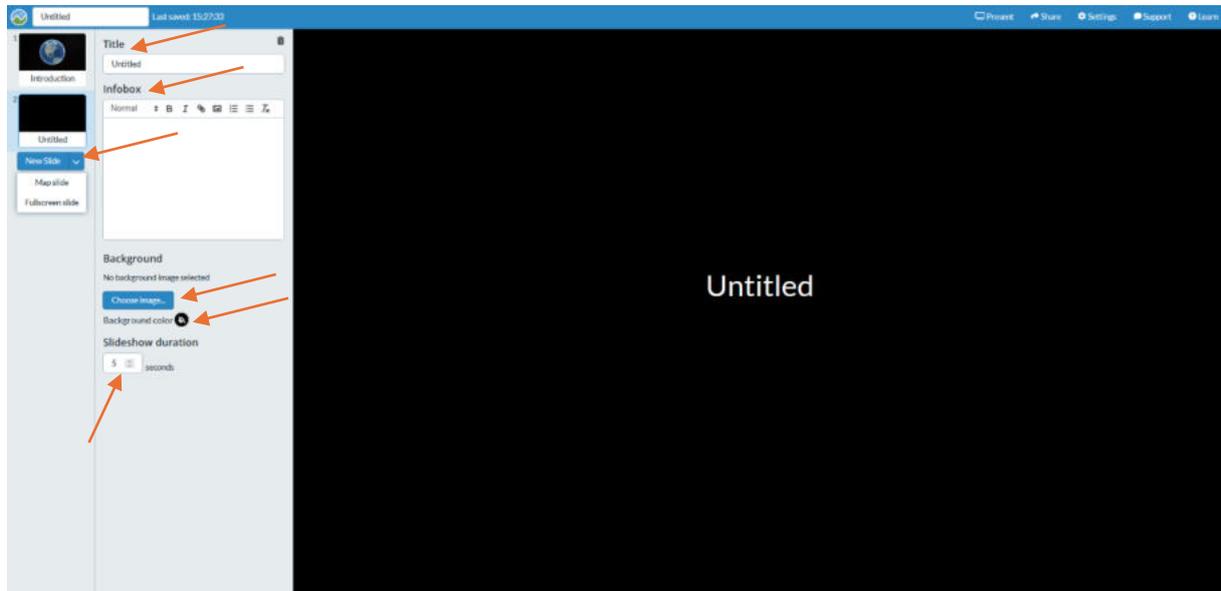
Hier kann eine neue Story erstellt werden. Links oben neben dem Cesium-Icon kann ein Name für die gesamte Story eingegeben werden. Im Bereich „Title“ kann eine Überschrift für die Seite eingegeben werden. Im Bereich „Infobox“ können Texte hinzugefügt und formatiert werden, die dann oben links neben den Daten angezeigt werden.

Im Bereich „Assets“ können die Inhalte von Cesium verwaltet werden. Sie können ausgewählt, gelöscht, gezoomt und deren Transparenz geändert werden. Außerdem kann die Reihenfolge der Daten geändert werden, indem man das Symbol neben den Namen gedrückt hält und die Daten nach oben oder unten verschiebt. Die Daten werden dann in dieser Reihenfolge auf der Karte angezeigt. Mit „Add Asset...“ können neue Daten hinzugefügt werden.



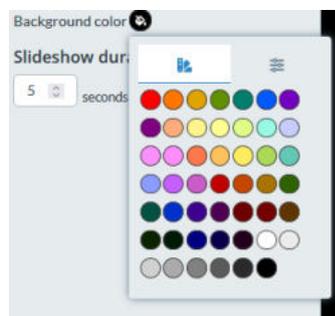
Im Bereich „Terrain“ können verschiedene Gelände von Cesium ausgewählt werden.

Im Bereich „Slideshow duration“ kann die Dauer der Präsentation der jeweiligen Slide in Sekunden angepasst werden.



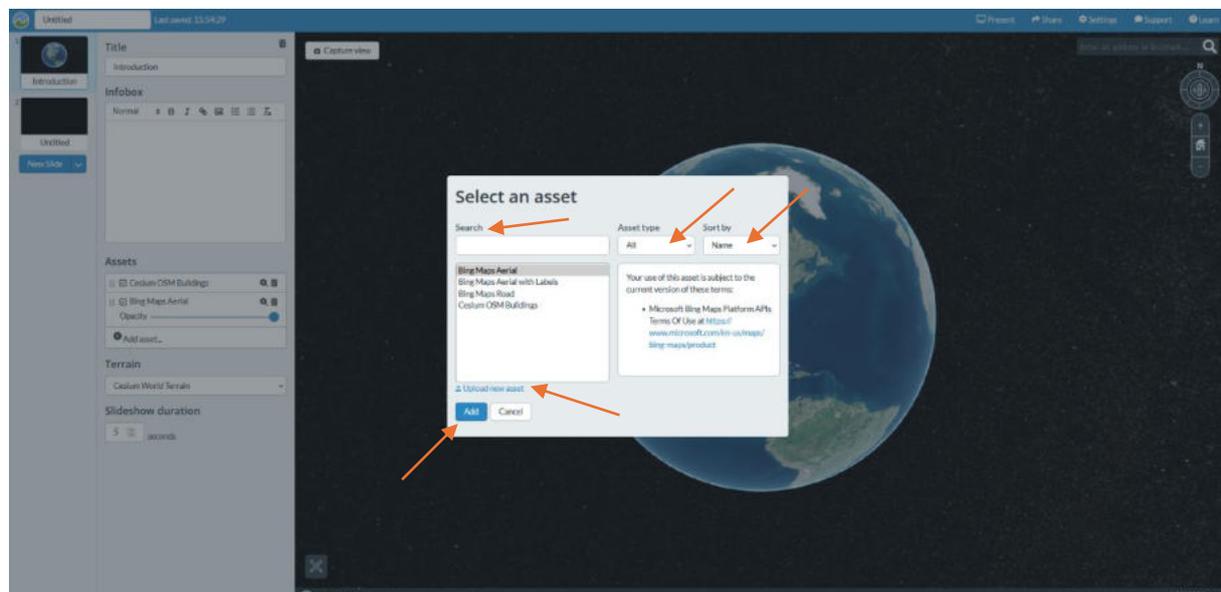
Um neue Slides bzw. Seiten hinzuzufügen, auf „New Slide“ klicken.

Wenn auf den Pfeil neben „New Slide“ geklickt wird, kann man „Map Slide“ oder „Fullscreen Slide“ wählen. Bei Auswahl von „Map Slide“ wird eine neue Seite mit dem Globus geöffnet, während bei „Fullscreen Slide“ eine neue Seite ohne Karte erstellt wird, auf der ein Titel und ein Text eingegeben werden können.

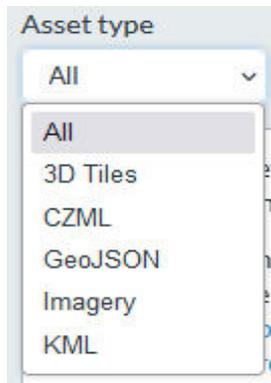


Es kann noch ein Hintergrundbild hochladen oder eine Farbe als Hintergrund eingestellt werden. Im Bereich „Slideshow duration“ kann die Dauer der Präsentation der jeweiligen Slide in Sekunden angepasst werden.

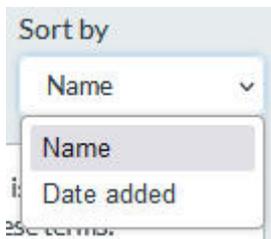
In den „Map Slides“, also die Ansicht mit dem Globus, können mit „Add Asset...“ neue Daten hinzugefügt werden.



Es wird ein neues Fenster „Select an asset“ geöffnet. Hier können die Inhalte von Cesium ausgewählt werden. Eigene Daten erscheinen ebenfalls in dieser Ansicht, nachdem sie hochgeladen wurden. Mit der „Search“-Funktion können Daten gezielt gesucht werden.

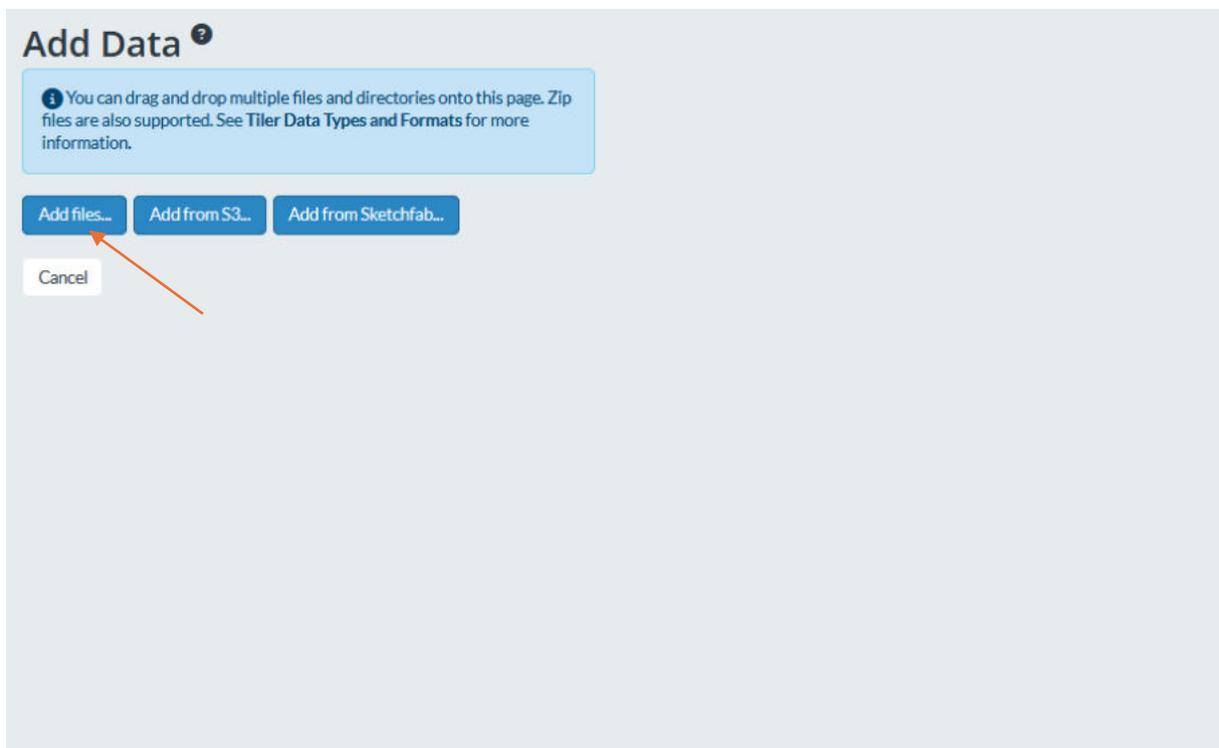


Durch Klicken auf den Pfeil neben „All“ im Bereich „Asset type“ werden verschiedene Datentypen angezeigt. Diese können ausgewählt werden, um nur bestimmte Datentypen anzuzeigen. Dies erleichtert das Finden der gewünschten Daten, besonders wenn eine große Menge an Daten vorhanden ist.

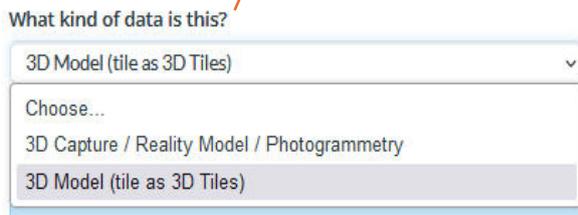
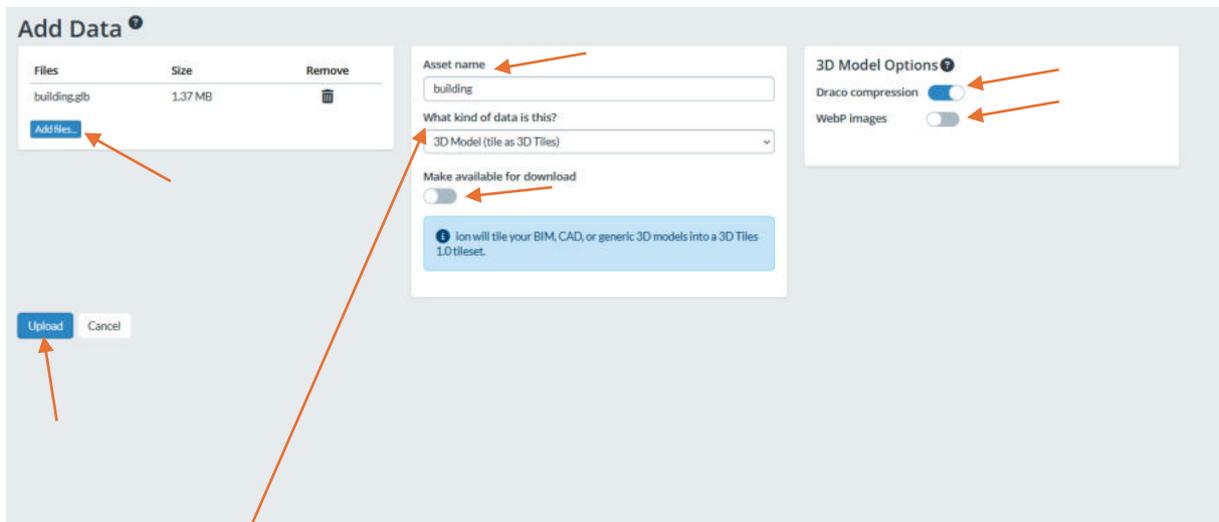


Durch Klicken auf den Pfeil neben „Name“ im Bereich „Sort by“ kann ausgewählt werden, ob die Daten alphabetisch sortiert oder nach der Reihenfolge angezeigt werden, in der sie hinzugefügt wurden.

Unter der Liste der Daten befindet sich der Button „Upload new asset“. Ein Klick darauf öffnet ein neues Fenster „Add Data“.



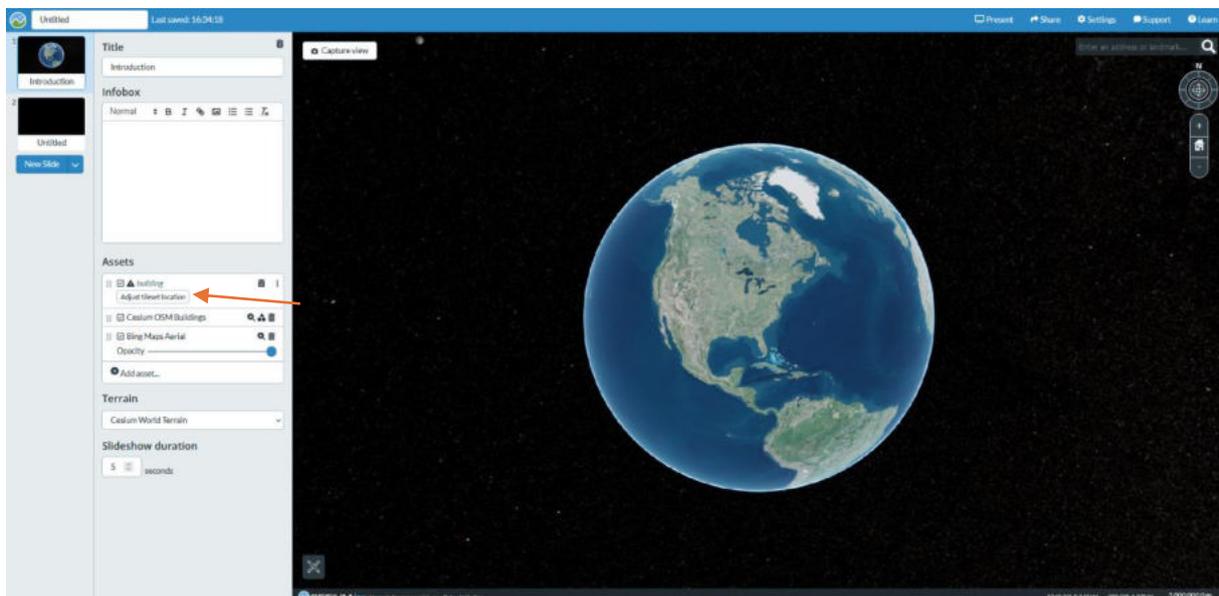
Mit dem Button „Add files...“ können eigene Daten hochgeladen werden.



Im oberen Screenshot wurde eine GLB-Datei ausgewählt. Neben dem Namen der Datei wird die Größenangabe angezeigt, und es gibt einen Button zum Löschen der Datei.

Im Bereich „Asset name“ kann ein Name für die Datei eingegeben werden. Unter „What kind of data is this?“ kann zwischen „3D Model (tile as 3D Tiles)“ und „3D Capture / Reality Model / Photogrammetry“ gewählt werden. Weiter unten kann der Button aktiviert oder deaktiviert werden, je nachdem, ob die Inhalte zum Download bereitgestellt werden sollen.

Mit „Add files...“ können weitere Daten hochgeladen werden. Es wird empfohlen, nur Daten desselben Typs zusammen hochzuladen. Optional können im Bereich „3D Model Options“ die Buttons „Draco compression“ und „WebP images“ aktiviert werden, um 3D-Modelle und Bilder effizienter zu komprimieren, was kleinere Dateigrößen und schnellere Ladezeiten ermöglicht. Mit dem Button „Upload“ können die Daten in Cesium importiert werden.

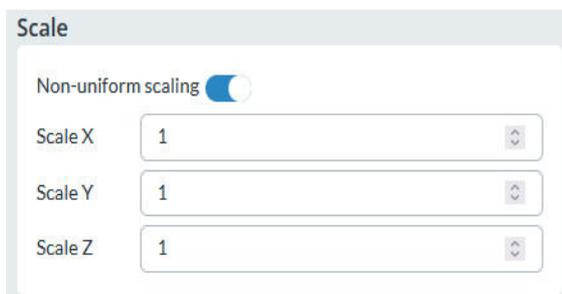


Nachdem eine Datei hochgeladen wurde, kann im Bereich „Assets“ die Datei korrekt positioniert werden, indem auf „Adjust tileset location“ geklickt wird.



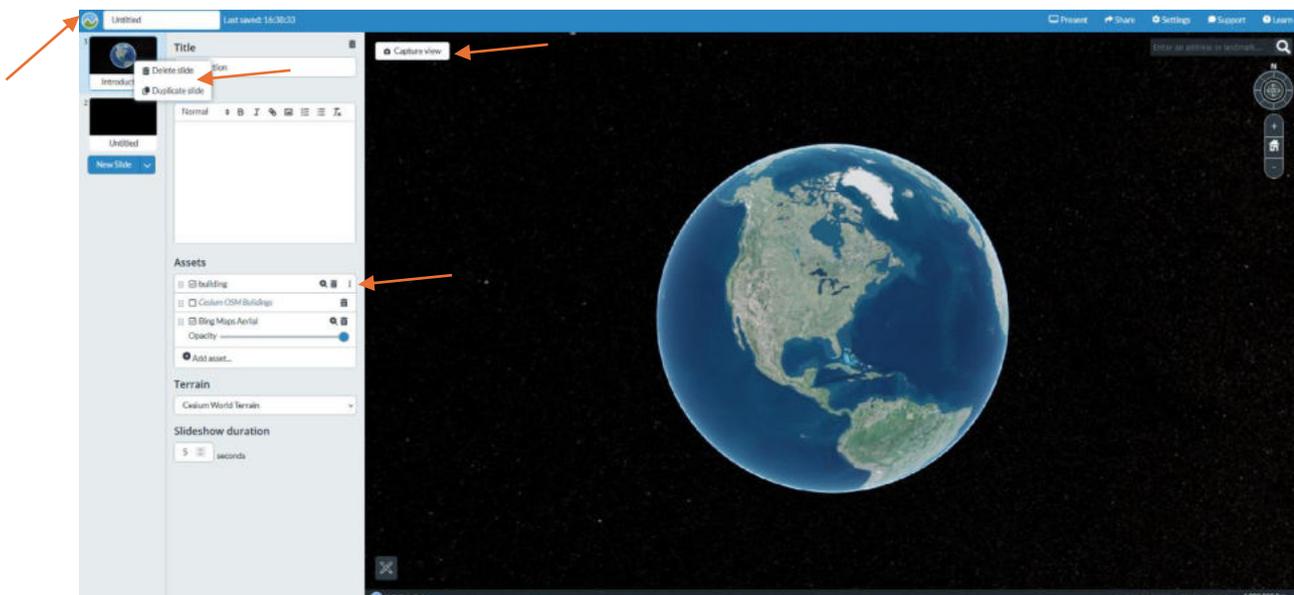
Ein neues Fenster „Adjust tileset location“ öffnet sich.

Mit dem Button „Zoom to tileset“ kann direkt auf die Datei gezoomt werden. Im Bereich „Position“ kann mit „Search“ der Ort gesucht werden, an dem die Datei positioniert wird. Die Position der Datei kann bei Longitude (geographische Länge), Latitude (geographische Breite) und Height (Höhe) angepasst werden. Mit „Click position“ kann die Datei per Klick in die Karte positioniert werden, was jedoch nicht empfohlen wird, da die Position dadurch ungenau sein kann. Im Bereich „Rotation“ (Drehung) können Heading (Richtung), Pitch (Neigung) und Roll (Kippung) angepasst werden.



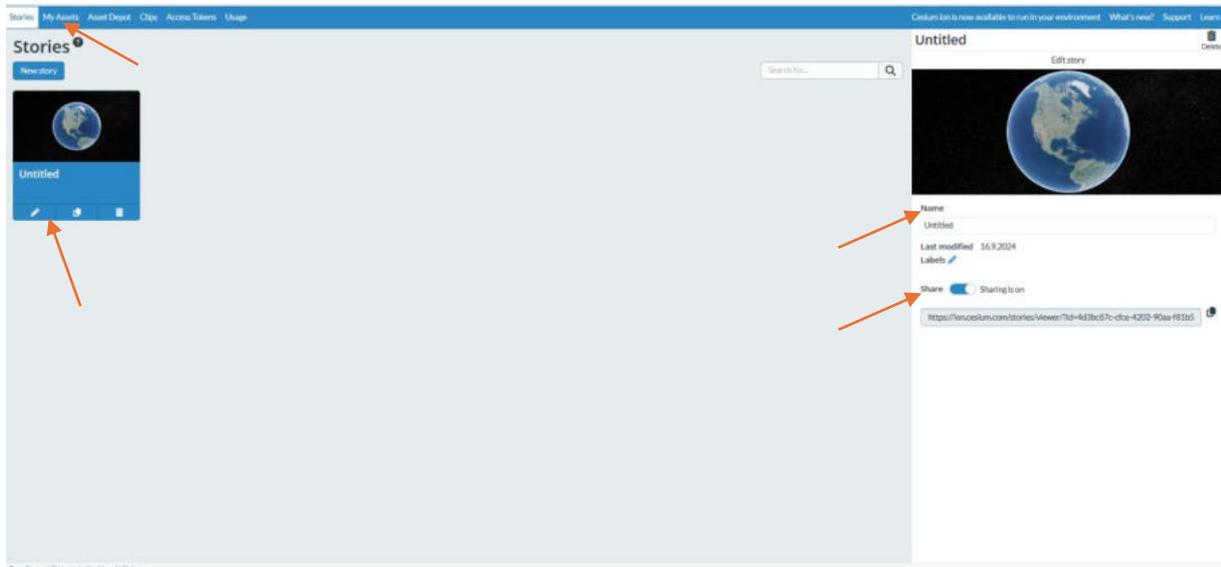
Im Bereich „Scale“ (Skalierung) kann der Button „Non-uniform scaling“ aktiviert oder deaktiviert werden. Wenn deaktiviert, kann nur die allgemeine Skalierung eingestellt werden; bei aktivierter Option können Scale X, Y und Z individuell angepasst werden. Die Datei kann auch manuell mit den Pfeilen auf der Karte positioniert werden.

Mit dem Button „Save“ können die Einstellungen gespeichert werden.



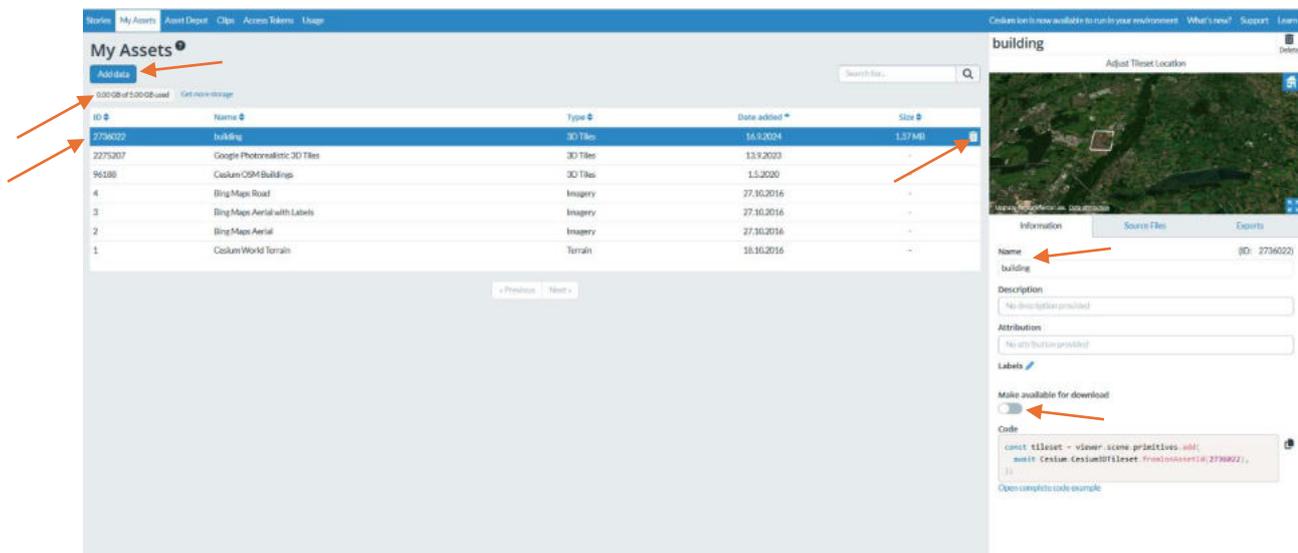
Zurück in der Story-Erstellung kann im Bereich „Assets“ die Position der Daten jederzeit angepasst werden, indem man auf die drei Punkte neben dem Dateinamen klickt. Außerdem bietet ein Rechtsklick auf eine Slide die Möglichkeit, die Slide entweder zu löschen oder zu duplizieren. Der „Capture View“-Button ermöglicht es, eine bestimmte Ansicht der Karte zu speichern. Wenn die Präsentation später geöffnet wird, wird diese gespeicherte Ansicht automatisch angezeigt.

Durch einen Klick auf das Cesium-Icon oben links gelangt man jederzeit zurück auf die Startseite.



Auf der Startseite wird nun die erstellte Story angezeigt. Sie kann dort bearbeitet, dupliziert oder gelöscht werden. Rechts gibt es ebenfalls die Möglichkeit, die Story zu bearbeiten oder zu löschen, und zudem stehen weitere Einstellungen und Informationen zur Verfügung. Der Name der Story kann geändert werden, das Datum der letzten Änderungen wird angezeigt und es können Labels hinzugefügt werden. Der Button „Share“ kann aktiviert oder deaktiviert werden. Wenn aktiviert, wird ein Link bereitgestellt, über den die Story betrachtet werden kann.

Im Reiter „My Assets“ können die hochgeladenen Daten verwaltet werden.



Hier werden Informationen wie ID, Name, Typ, Upload-Datum und Größe der Datei angezeigt. Weitere Daten können durch Klicken auf „Add Data“ hochgeladen werden. Rechts werden zusätzliche Details zur ausgewählten Datei angezeigt, darunter die Möglichkeit, eine Beschreibung und Labels hinzuzufügen. Außerdem kann der Button „Make available for download“ aktiviert werden, wenn diese Datei zum Download bereitgestellt werden soll.

Links oben wird angezeigt, wie viel Speicherplatz von den verfügbaren 5 GB bereits genutzt wurde.



Wenn der Link zum Teilen der Story im Browser geöffnet wird, kann die Story auch ohne Cesium-Account betrachtet werden. In den Slides, die eine Karte enthalten, ist es möglich, hinein- und herauszuzoomen, die Ansicht zu drehen und Messungen vorzunehmen. Unten rechts werden die Koordinaten, die Höhe und eine Maßstabsleiste angezeigt; außerdem ermöglicht ein Button die Darstellung im Vollbildmodus. In den Slides ohne Karte sind lediglich der Titel, der Text sowie ein Hintergrundbild oder eine Hintergrundfarbe zu sehen. Unten links befindet sich ein Menü, das den Wechsel zwischen den Slides erlaubt. Zusätzlich können über Pfeile die vorherigen oder nächsten Slides aufgerufen werden.

Mit einem Klick auf den Benutzernamen oben rechts auf der Startseite kann man auf „Sign Out“ klicken, um sich abzumelden.