

Line wrap

---

```
<!doctype html>
<!--
Minimal Mistakes Jekyll Theme 4.26.2
by Michael Rose
Copyright 2013-2024 Michael Rose -
mademistakes.com | @mmistakes
Free for personal and commercial use
under the MIT license
https://github.com/mmistakes/minimal-
mistakes/blob/master/LICENSE
-->
```

```
<html lang="de-DE" class="no-js">
<head>
<meta charset="utf-8">
```

```
<!-- begin _includes/seo.html
--><title>Bericht von Jonathan Hecht
- 3D | Visualisierung</title>
<meta name="description"
content="Ohlendorff'schen Villa - Die
Umgebung einer VR-Anwendung">
```

```
<meta name="author"
content="Jonathan Hecht">
```

```
<meta property="og:type"
content="website">
<meta property="og:locale"
content="de_DE">
<meta property="og:site_name"
content="3D | Visualisierung">
```

---

```
<meta property="og:title"
content="Bericht von Jonathan
Hecht">
<meta property="og:url"
content="https://jp-
hecht.github.io/3DVIS/Jonathan/">
```

```
<meta property="og:description"
content="Ohlendorff'schen Villa - Die
Umgebung einer VR-Anwendung">
```

```
<meta property="og:image"
content="https://jp-
hecht.github.io/3DVIS/assets/images/JPH/villa_sketch.jpg">
```

```
<link rel="canonical"
href="https://jp-
hecht.github.io/3DVIS/Jonathan/">
```

---

```
<!-- end _includes/seo.html -->
```

```
<link href="/3DVIS/feed.xml"
type="application/atom+xml"
rel="alternate" title="3D |
Visualisierung Feed">
<meta name="viewport"
content="width=device-width,
initial-scale=1.0">
```

```
<script>
document.documentElement.className
=
document.documentElement.className.replace(/\\bno-
js\\b/g, " ") + ' js ';
```

---

```
</script>
```

```
<!-- For all browsers -->
<link rel="stylesheet"
href="/3DVIS/assets/css/main.css">
<link rel="preload"
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm
/@fortawesome/fontawesome-
free@latest/css/all.min.css" as="style"
on-
load="this.onload=null;this.rel='stylesheet'">
<noscript><link rel="stylesheet"
href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@fortawesome/fontawesome-
free@latest/css/all.min.css"></noscript>
```

```
<!-- start custom head snippets -->
```

```
<!-- insert favicons. use
https://realfavicongenerator.net/ -->
```

```
<!-- end custom head snippets -->
```

```
</head>
```

```
<body class="layout--single"
dir="ltr">
<nav class="skip-links">
<ul>
<li><a href="#site-nav"
class="screen-reader-shortcut">Skip
to primary navigation</a></li>
<li><a href="#main"
class="screen-reader-shortcut">Skip
to content</a></li>
```

---

```
<li><a href="#footer"
class="screen-reader-shortcut">Skip
to footer</a></li>
</ul>
</nav>
```

```
<div class="masthead">
<div
class="masthead__inner-wrap">
<div class="masthead__menu">
<nav id="site-nav"
class="greedy-nav">

<a class="site-title" href="/3DVIS/">
3D | Visualisierung

</a>
<ul class="visible-links"><li
class="masthead__menu-item">
<a
href="/3DVIS/Jonathan/"

>Jonathan</a>
</li><li
class="masthead__menu-item">
<a
href="/3DVIS/Madelaine/"

>Madelaine</a>
</li><li
class="masthead__menu-item">
<a
href="/3DVIS/Marlene/"

>Marlene</a>
</li></ul>
```

---

```
<button class="greedy-nav__toggle
hidden" type="button">
<span class="visually-hidden">Toggle
menu</span>
<div class="navicon"></div>
</button>
<ul class="hidden-links
hidden"></ul>
</nav>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="initial-content">
```

```
<div class="page__hero--overlay"
style=" background-image:
linear-gradient(rgba(0, 0, 0, 0.5),
rgba(0, 0, 0, 0.5)),
url('/3DVIS/assets/images/JPH/villa__sketch.jpg');"
>
```

```
<div class="wrapper">
<h1 id="page-title"
class="page__title"
itemprop="headline">
```

</h1>

<p  
class="page\_\_lead">Ohlendorff'schen  
Villa - Die Umgebung einer  
VR-Anwendung  
</p>

</div>

<span class="page\_\_hero-  
caption">Bildquelle: <a href="https:  
//ohlendorffsche.de/histori  
e/"><strong>ohlendorffsche.de</strong></a>  
</span>

</div>

<div id="main" role="main">

<div class="sidebar sticky">

---

```
<div itemscope item-  
type="https://schema.org/Person"  
class="h-card">
```

```
<div class="author__avatar">  
<a href="https://jp-  
hecht.github.io/3DVIS/">  
  
</a>  
</div>
```

```
<div class="author__content">  
<h3 class="author__name p-name"  
itemprop="name">  
<a class="u-url" rel="me" href="https:  
//jp-hecht.github.io/3DVIS/"  
itemprop="url">Jonathan Hecht</a>  
</h3>
```

```
<div class="author__bio p-note"  
itemprop="description">  
<p>M.Sc. Geodäsie und  
Geoinformatik</p>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="author__urls-wrapper">  
<button class="btn  
btn--inverse">Follow</button>
```



---

```
<ul class="author__urls
social-icons">
```

```
<li itemprop="homeLocation"
itemscope item-
type="https://schema.org/Place">
<i class="fas fa-fw fa-map-marker-alt"
aria-hidden="true"></i> <span
itemprop="name"
class="p-locality">Hamburg,
Germany</span>
</li>
```

```
<li><a href="https:
//mastodon.social/@jphecht"
rel="nofollow noopener norereferrer me"
itemprop="sameAs"><i
class="fa-brands fa-mastodon"
aria-hidden="true"></i><span
class="label">Mastodon</span></a></li>
```

```
<li><a
href="https://github.com/jp-hecht"
rel="nofollow noopener norereferrer me"
itemprop="sameAs"><i class="fab
fa-fw fa-github"
aria-hidden="true"></i><span
class="label">GitHub</span></a></li>
```

---

---

```
<!--  
<li>  
<a href="http://link-to-whatever-  
social-network.com/user/"  
itemprop="sameAs" rel="nofollow  
noopener noreferrer me">  
<i class="fas fa-fw"  
aria-hidden="true"></i> Custom  
Social Profile Link  
</a>  
</li>  
-->  
</ul>  
</div>  
</div>
```

```
</div>
```

---

```
<article class="page" itemscope item-  
type="https://schema.org/CreativeWork">  
<meta itemprop="headline"  
content="Bericht von Jonathan  
Hecht">  
<meta itemprop="description"  
content="Ohlendorff'schen Villa - Die  
Umgebung einer VR-Anwendung">
```

```
<div class="page__inner-wrap">
```

```
<section class="page__content"  
itemprop="text">
```

```
<aside class="sidebar__right ">  
<nav class="toc">  
<header><h4 class="nav__title"><i  
class="fas fa-file-alt"></i>  
Inhaltsverzeichnis</h4></header>
```

---

```

<ul class="toc __menu"><li><a
href="#1-einleitung">1.
Einleitung</a></li><li><a
href="#2-ohlendorffsche-villa">2.
Ohlendorff'sche
Villa</a><ul><li><a
href="#daten">Daten</a></li></ul></li><li><a
href="#3-entwicklung-einer-vr-
anwendung-für-die-ohlendorffsche-
villa">3. Entwicklung einer VR
Anwendung für die Ohlendorff'sche
Villa</a><ul><li><a
href="#konzeption">Konzeption</a></li><li><a
href="#möglichkeiten-zur-vr-
umsetzung">Möglichkeiten zur
VR-Umsetzung</a><ul><li><a
href="#theorie">Theorie</a></li><li><a
href="#entwicklungsumgebung">Entwicklungsumgebung</a></li></ul></li><li><a
href="#4-implementierung">4.
Implementierung</a><ul><li><a
href="#bewegung">Bewegung</a></li><li><a
href="#außenbereich">Außenbereich</a></li><li><a
href="#ohlendorffsche-villa-und-
innenbereich">Ohlendorff'sche Villa
und Innenbere-
ich</a></li></ul></li><li><a
href="#5-fazit">5.
Fazit</a></li><li><a
href="#literatur">Literatur</a></li></ul>
</nav>
</aside>

```

```

<h1 id="1-einleitung">1.
Einleitung</h1>

```

---

Die Ohlendorff'sche Villa übernimmt im Hamburger Stadtteil Volksdorf eine hervorgehobene Stellung im urbanen Gefüge, welche insbesondere durch die Zentralität im Stadtteil, sowie die Betonung des Gebäudes durch den umschließenden Park gegeben ist. Um diesen Besonderheiten auch außerhalb einer vor Ort Begehung erfahrbar zu machen und somit die Villa für diverse Menschen zugänglich zu machen, wurde im Rahmen des Kurses 3D-Visualisierung an der HafenCity Universität von Herrn Prof. Kersten eine Virtual Reality (VR) Anwendung zur Ohlendorff'schen Villa entwickelt. Ziel ist es, ein zur Verfügung gestelltes historisches Gebäude für eine interaktive Begehung und realitätsnahe Visualisierung aufzubereiten.</p>

---

<p style="text-align: justify;">Innerhalb der letzten Jahrzehnte ist die Bedeutung von VR Anwendungen durch die geschaffene multisensorische 3D Umwelt in verschiedenen Feldern gestiegen<sup id="fnref:1" role="doc-noteref"><a href="#fn:1" class="footnote" rel="footnote">1</a></sup>. Typische Anwendungsfelder umfassen unter anderem die Psychologie, Simulatoren, Operationen, Lernumgebungen, Sport oder in der Industrie<sup id="fnref:4" role="doc-noteref"><a href="#fn:4" class="footnote" rel="footnote">2</a></sup>. Innerhalb der Architektur, Ingenieurwesen und Konstruktion ermöglichen VR Anwendungen die Immersion von Nutzenden in eine virtuelle Welt, welche den hohen Anforderungen der visuellen Kommunikation in Bezug auf Design, Konstruktion und Management der gebauten Umwelt ermöglicht<sup id="fnref:1:1" role="doc-noteref"><a href="#fn:1" class="footnote" rel="footnote">1</a></sup>. Entsprechend wird insbesondere die Simulation der realen Welt angestrebt. Erste Versuche von VR Applikationen für die bebaute Umwelt wurden zwar bereits in den 1990er Jahren getestet, jedoch erfolgte eine größere Verbreitung durch praktische Anwendungen erst in den letzten Jahren durch eine Reduktion von Einstiegshürden mittels leistungsfähigerer Hard- und Software. Beispiele für praktische Anwendungen können Kundenbegehungen oder die schrittweise Überprüfung von Bauabläufen sein<sup id="fnref:2" role="doc-noteref"><a href="#fn:2" class="footnote" rel="footnote">3</a></sup>.</p>

---

Der enge Zusammenhang zwischen VR und Geoinformatik (auch Geodäsie) kann bereits aus einer einfachen Definitionen abgeleitet werden. So beschäftigt sich die Geoinformatik mit dem Wesen und der Funktion raumbezogener, meist digitaler Informationen, die sich auf die Erde beziehen<sup>4</sup>[4](#fn:25).

Entsprechend der Dreidimensionalität der Gegebenheiten auf der Erde kann VR als ergänzende Methode angesehen werden. Zwar wurden Karten in der Vergangenheit meist in 2D dargestellt, jedoch gibt es fortgehende Bemühungen einer 3D Darstellung. Als Präsentationsmöglichkeit kann dabei unter anderem VR sein. Den Studierenden ermöglicht die Auseinandersetzung mit dieser Thematik auch andere Techniken als klassische Kartographie zu erlernen.



---

<p style="text-align: justify;">Bevor jedoch tiefer in das Thema, sowie das studentische Projekt eingegangen wird, sollte das Verständnis des Begriffes VR offengelegt werden. Eingeordnet werden kann der Begriff in das übergeordnete Thema des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums<sup id="fnref:3" role="doc-noteref"><a href="#fn:3" class="footnote" rel="footnote">5</a></sup>. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich Augmented Reality (AR), Augmented Virtuality (AV) und VR zwischen den Endpolen physischen Realität und vollständig virtuellen Umgebung befinden<sup id="fnref:5" role="doc-noteref"><a href="#fn:5" class="footnote" rel="footnote">6</a></sup>. AR, AV und VR werden dabei unter dem Begriff *extended reality* (XR) zusammengefasst, welches „[...] alle realen und virtuellen kombinierten Umgebungen und Mensch-Maschine-Interaktionen, die durch Computertechnologie und Wearables erzeugt werden“ umfasst<sup id="fnref:6" role="doc-noteref"><a href="#fn:6" class="footnote" rel="footnote">7</a></sup>. Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Definition von VR im wissenschaftlichen Kontext erarbeitet. In unserem Fall wird die nachfolgende Definition als Grundlage gesetzt:</p>
 <blockquote id="def">

---

<p>VR leverages immersive technologies to simulate interactive virtual environments or virtual worlds with which users become subjectively involved and in which they feel physically present<sup id="fnref:5:1" role="doc-noteref"><a href="#fn:5" class="footnote" rel="footnote">6</a></sup></p></blockquote><p style="text-align: justify;">Basierend auf diesem Verständnis wird im folgenden Bericht zunächst das reale Objekt beschrieben, sowie die Entscheidung des Modelles begründet. Im Anschluss folgt die Konzeption unserer VR Anwendung, ergänzende theoretische Überlegungen zur Anwendung und die verwendete Hard- und Software. Nachdem die Voraussetzungen festgelegt wurden, wird die Umsetzung konkretisiert, sowie die Limitierungen samt Fazit aufgezeigt. Innerhalb dieses Berichtes wird insbesondere die Entstehung des Außenbereiches, samt aller dazugehörigen Elemente, aufgegriffen. Andere Bereiche, wie beispielsweise die Texturierung des Gebäudes, werden überblicksartig erläutert, aber detaillierter in den beiden anderen Berichten (<a href="https://jp-hecht.github.io/3DVIS/Marlene">Marlene Arnold</a>, <a href="https://jp-hecht.github.io/3DVIS/Madelaine/">Madelaine Linek</a>) der Gruppenarbeit aufgegriffen.</p>

<h1 id="2-ohlendorffsche-villa">2. Ohlendorff'sche Villa</h1>

---

```

<p>Wie aus der <a
href="#map1">Übersichtskarte</a>
deutlich wird und bereits angedeutet
wurde, befindet sich das ehemalige
großbürgerliche Wohnhaus im
Hamburger Stadtteil Volksdorf. Im
Wesentlichen wird das Gebäude vom
zugehörigen Park sowie Gebäuden mit
primärer Wohnfunktion
eingegrenzt.</p>
<div class="content-container">
<div id="map"
class="map-container"></div>
<script>
document.addEventListener("DOMContentLoaded",
function () {
var map =
L.map('map').setView([53.648437464598516,
10.165957827843153], 15);

L.tileLayer.wms('https://sgx.geodatenzentrum.de/wms_basemapde',
{
layers:
'de_basemapde_web_raster_grau',
format: 'image/png',
transparent: true,
attribution: '&copy; GeoBasis-DE /
BKG (2025)'
}).addTo(map);
var marker =
L.marker([53.648437464598516,
10.165957827843153]).addTo(map);
});
</script>
</div>
<p id="map1"><em>Karte 1:
Verortung der Ohlendorff'sche Villa in
Volksdorf.</em></p>

```

---

Die historische Entwicklung wird auf der Website von der heute besitzenden Stiftung Ohlendorff'sche Villa durch Gerhard Hirschfeld beschrieben. Eine kurze Zusammenfassung wird hier aufgegriffen: Die heute denkmalgeschützte Villa wurde 1928/29 von Erich Elingius für Hans v. Ohlendorff errichtet. Dieser ließ das vorherige Gutshaus seines Vaters Heinrich v. Ohlendorff abreißen. Die neue Villa hebt sich durch ihre herrschaftliche Gestaltung hervor. Während der Abriss der eklektizistischen Villa seines Vaters dem Zeitgeist entsprach, wählte Hans v. Ohlendorff mit Elingius einen Architekten, der konservative Bauweisen bevorzugte. Besonders auffällig ist die zentrale Auffahrt mit dem hervorgehobenen Eingangsportal, das den repräsentativen Anspruch der Familie unterstreicht. Die asymmetrisch gestaltete Gartenseite wirkt wohnlicher, doch das hohe Sockelgeschoss verhindert eine direkte Verbindung zum Park. Entsprechenden der repräsentativen Funktion wurden die Zimmer im Untergeschoss als Empfangszimmer, Bibliothek, Musikzimmer und Speisezimmer gestaltet. Die obere private Etage umfasste ein großes Schlafzimmer mit Ankleidezimmer und eigenem Bad sowie einen achteckigen Frühstücksraum. Ein separater Flur für das Dienstpersonal führte zur Anrichte und zum Speisenaufzug. Der Gästebereich bestand aus zwei Fremdenzimmern mit einem gemeinsamen Bad. Die Villa zeigt sparsam eingesetzte Schmuckelemente. Werkstein-Umrahmungen betonen die Rundbogenfenster und Rechtecköffnungen, während Balkone und französische Fenster mit

<sup>20</sup> gusseisernen Ziergittern versehen sind.<sup><sup id="fnref:8" role="doc-noteref"><a href="#fn:8" class="footnote" rel="footnote">8</a></sup>. Hans v. Ohlendorff verkaufte das Anwesen an die Stadt Hamburg im Jahr 1953, welche das Gebäude bis 2006 als</sup>

---

Die Entscheidung für die Villa basiert auf unterschiedlichen Kriterien. Als pragmatische Überlegung liegt die Villa im Vergleich zu den anderen beiden Projekten (Schloss Agathenburg und Horneburg) in erreichbarer Nähe vom Hamburg Stadtzentrum, sodass eine vor Ort Begehung möglich ist. Des Weiteren sorgte die spannende Geschichte für Inspirationen, was die Ausgestaltung angeht und ermöglichte gleichzeitig eine flexiblere Gestaltung und Stilisierung.

<h2 id="daten">Daten</h2>

---

<p style="text-align: justify;">Innerhalb unterschiedlicher Kurse an der HafenCity Universität wurden diverse Daten, wie beispielsweise die Aufmaße der Räume, 360 Bilder der Innenräume oder Punktwolken, über das Gebäude aufgenommen. Aus den vorhandenen Daten wurde die Außenhülle des Modelles bereits manuell modelliert und den Gruppen als FBX-Datei zur Verfügung gestellt. Diese Datei ist Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte. Das zur Verfügung gestellte Gebäude wurde im Anschluss durch ein Gruppenmitglied aufbereitet und Mängel entfernt. Details zu den notwendigen Veränderungen können in den Sektionen <a href="https://jp-hecht.github.io/3DVIS/Marlene/#daten"> Daten</a> und <a href="https://jp-hecht.github.io/3DVIS/Marlene/#modellierung">Modellierung</a> nachvollzogen werden. Für den nachfolgenden Bericht wird entsprechend ein vollständiges Modell angenommen.</p>

<h1 id="3-entwicklung-einer-vr-anwendung-für-die-ohlendorffsche-villa">3. Entwicklung einer VR Anwendung für die Ohlendorff'sche Villa</h1>

---

<p style="text-align: justify;">Nachdem durch eine Definition von VR, der Historie des Gebäudes und die verfügbaren Daten bereits erste Hintergründe erläutert wurden, wird im folgenden die Konzeption der VR Anwendung aufgegriffen und im Anschluss die konkrete Implementierung samt theoretischer Überlegungen und deren konkreter Umsetzung beschrieben.</p>  
<h2 id="konzeption">Konzeption</h2>

---

<p style="text-align: justify;">Vorgegebenes Ziel des Projektes ist die interaktive Begehung und Visuallisierung der Ohlendorff'schen Villa. Entsprechend dieser Anforderung wurde das Gebäude als zentralstes Element in den Mittelpunkt der virtuellen Szene gestellt. Da jedoch die Villa insbesondere im Zusammenhang und Wirkungsgefüge mit der Umgebung steht, sollte diese auch eingebunden werden, wobei die Fokussierung auf die Villa nicht verloren gehen darf. Dieses kann den Nutzenden gleichzeitig ermöglichen ein besseres Verständnis für die Größenrelationen zu erlangen. Da eine großräumige Darstellung beispielsweise von gesamt Volksdorf keinen Mehrwert brächte und ein gesamter Stadtteil vom Umfang nicht gestaltet werden könnte, wurde sich entschieden die Villa auf eine Scheibe darzustellen. Die Idee markante Elemente im Raum in Blockform bzw. Scheibenform darzustellen, wurde inspiriert von Darstellung digitaler Geländemodelle als Block ( <a href="https://medium.com/@benoit.pimpaud/rayshader-experiment-e58f09eb91d">Beispiel 1</a>, <a href="https://www.researchgate.net/figure/Digital-Elevation-Model-DEM-3D-Elevation-Model-and-3D-Realistic-Model-of-the-combined\_fig1\_268074280">Beispiel 2</a>). Bei der Wahl der Blockform wurde sich an den natürlichen Gegebenheiten vor Ort orientiert. Ziel war es die Umgebung abzubilden, ohne jedoch die Hauptsichtachsen auf die Front und Rückseite der Villa zu beschränken. In der praktischen Umsetzung erwies sich eine Kreisform als geeignet.</p>



---

Die Gestaltung des Außenbereiches orientiert sich an einer stilisierten kartographischen Darstellungen, welche eher den Sehgewohnheiten der Nutzenden entsprechen, als der Versuch, eine realitätsgetreue Umgebung zu schaffen. Angelehnt an die kartographischen Generalisierung sollten Objekte in einem *Low Poly Stil*, also der Modellierung von Objekten durch ein Netz von wenigen verbundenen Punkten, abgebildet werden<sup>[10](#fn:11)</sup>. Als Beispiel kann hier bereits auf die Verwendung von einfachen Blöcken (LoD 1) mit nur zwei Farben der umgebenden Gebäude erwähnt werden. Diese einfache Geometrie steht damit im deutlichen Kontrast zur Villa, welche in Bezug auf Gebäudeform und Texturierung im Detail ausgestaltet wurde.

---

Die stilisierte 3D-Karte verbindet somit klassische Kartografie mit modernen Visualisierungstechniken. Im Gegensatz zu zweidimensionalen Karten fügt sie eine zusätzliche Informationsebene hinzu, die gezielte Hervorhebungen, Maßstabsverzerrungen oder Detailreduktionen ermöglicht, um die Wahrnehmung zu steuern<sup><sup id="fnref:23" role="doc-noteref"><a href="#fn:23" class="footnote" rel="footnote">11</a></sup></sup>. In diesem Projekt wird eine schematische Umgebung mit einem realistisch modellierten zentralen Objekt kombiniert – ein Ansatz, der auch in Stadtplanung, Architekturvisualisierung und digitalen Museumslandschaften Anwendung findet<sup><sup id="fnref:22" role="doc-noteref"><a href="#fn:22" class="footnote" rel="footnote">12</a></sup></sup>.

---

Die Gestaltung der Villa selbst verfolgt die Idee, dass diese als Versteck für wertvolle Kunstgegenstände dient. So wurde zwar die äußere Architektur dem realen Objekt nachempfunden, jedoch die Texturierung an die Idee angepasst. Entsprechend spiegelt auch der Innenbereich nicht die realen Gegebenheiten wider, sondern spielt mit einer Präsentationsfläche für Kunstobjekte. Folglich wurden besondere Materialien für die Texturierung der Innenbereiche gewählt. Im Innenbereich wurden 2.5 Räume geschaffen. Neben dem Eingangsbereich existieren ein Musikzimmer und ein Kunstraum. Im Musikzimmer werden Instrumente verschiedener Kulturen bzw. Zeitepochen ausgestellt. Das Kunstzimmer behandelt berühmte, in der Realität verschollene Malereien und deren Geschichte.

## Möglichkeiten zur VR-Umsetzung

Bevor konkrete umgesetzte Elemente beschrieben und Funktionsweisen erläutert werden können, werden sowohl die Arbeitsschritte zur Entwicklung einer VR Anwendung als auch Entscheidungen für konkrete Hard- und Software aufgegriffen.

### Theorie

---

<p style="text-align: justify;">Wie  
 bereits aus der <a  
 href="#def">Definition</a>  
 hervorgeht, zielt eine VR Anwendung  
 auf die Immersion der Nutzenden in  
 eine virtuelle Welt ab, welche  
 gleichzeitig die Außenwelt versucht  
 auszuschließen<sup id="fnref:16"  
 role="doc-noteref"><a href="#fn:16"  
 class="footnote"  
 rel="footnote">13</a></sup>. Um  
 einen hohen Immersionsgrad zu  
 erzeugen, sollte die geschaffene  
 Umgebung im Zusammenspiel aus  
 realer Umgebung,  
 Hardwarekomponenten und Software  
 ähnlich zur Realität reagieren<sup  
 id="fnref:18" role="doc-noteref"><a  
 href="#fn:18" class="footnote"  
 rel="footnote">14</a></sup>.  
 Einfache Beispiele hierfür können  
 hochauflösende Displays oder  
 räumliche Geräuschkulissen sein.</p>
 <p style="text-align: justify;">Wenn  
 ein VR-System von großen  
 Komponenten bis zu kleineren  
 Bestandteilen betrachtet wird, kann  
 zunächst die reale Umgebung der  
 VR-Anwendung betrachtet werden.  
 Diese reichen von einfachen  
 stationären Umgebungen, wo die  
 Nutzenden einzeln sitzen oder stehen,  
 bis zu realen Umgebungen, wo ein  
 gesamter Raum ggfs. mit  
 verschiedenen Nutzenden verwendbar  
 für die VR Applikation ist<sup  
 id="fnref:19" role="doc-noteref"><a  
 href="#fn:19" class="footnote"  
 rel="footnote">15</a></sup>. Die  
 nächste größere Komponente ist die  
 Art und Weise, wie den Nutzenden die  
 virtuelle Realität gezeigt wird. Eine  
 Differenzierung in fünf Kategorien  
 kann der nachfolgenden Abbildung  
 entnommen werden:</p>

---

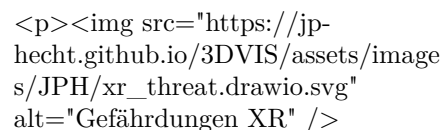
<p>  
<em>Abbildung 1: Differenzierung  
von Displayarten zur Visualisierung  
einer VR-Anwendung<sup  
id="fnref:2:1" role="doc-noteref"><a  
href="#fn:2" class="footnote"  
rel="footnote">3</a></sup>.</em></p>

<p style="text-align: justify;">Als  
Hauptdifferenzierung kann die  
Position des Displays genannt werden.  
Die Bandbreite reicht von  
verschiedenen Kombinationen an fest  
montierten Displays, über Displays,  
die über den Kopf gehalten werden  
und zuletzt Displays, die in der Hand  
gehalten werden. Dabei ist das  
gängige Verständnis, dass VR mit  
abschließenden Head-based Displays  
(HBD) verbunden ist. Neben dem  
Begriff HBD findet sich in der  
Literatur häufiger der Begriff  
Head-mounted Display (HMD).

---

Je nach System kommen diverse integrierte oder externe Sensoren sowie Aktoren zum Display hinzu, um den Grad der Immersion zu erhöhen. Beispiele für Sensoren umfassen Kameras, Bewegungstracker oder Eingabegeräte (Joysticks, Trackpads, Laufbänder, ...). Als Aktoren können neben dem Display beispielsweise Audiowiedergabegeräte oder Vibrationsmotoren sein<sup>14</sup>. Als wichtigste Eigenschaft können geringe Latenz und Genauigkeit genannt werden<sup>15</sup>.

Im Zusammenspiel zwischen Hard- und Software können bei einer schlecht eingestellten und gestalteten VR Anwendung auch potenzielle physische, psychische Schäden für die Nutzenden auftreten. Bevor auf typische Gefährdungen eingegangen werden kann, sollte darauf hingewiesen werden, dass ebenfalls Cyberbedrohung mit höchst sensitiven Daten möglich sind und hier nicht gesondert auf VR, sondern auf gesundheitsrelevante Aspekte in XR Anwendungen bezogen wird. Die Bandbreite an potenziellen Gefährdungen kann Abb. 2 entnommen werden:

Das Diagramm zeigt die verschiedenen Gefährdungen in XR (Extended Reality). Es ist eine hierarchische Struktur, die von der allgemeinen Bedrohung 'Gefährdungen XR' ausgeht und in spezifische Bereiche unterteilt ist. Diese Bereiche umfassen physische, psychische und Cyberbedrohungen, die jeweils weiter unterteilt sind in spezifische Risiken wie z.B. 'physische Schäden', 'psychische Schäden' und 'Cyberbedrohungen'.

---

<em>Abbildung 2: Überblick über  
potentielle Gefährdungen für die  
menschliche Gesundheit<sup  
id="fnref:19:2" role="doc-noteref"><a  
href="#fn:19" class="footnote"  
rel="footnote">15</a></sup>.</em></p>

<p style="text-align:  
justify;">Innerhalb des  
projektrelevanten praktischen  
Überlegungen sind in unserem Fall die  
Verhinderung von Motion Sickness  
und physische Verletzungen durch  
Kollisionen von Relevanz, da die  
Anwendung weder auf die extensive  
Nutzung durch Kinder abzielt oder  
bewusst die Nutzenden negativ  
manipuliert.</p>

<p style="text-align: justify;">Durch  
die Breite der Hardwarelösungen,  
sowie Gefährdungen wurden die  
Möglichkeiten Präsentation der  
VR-Welt aufgezeigt, jedoch wurde  
noch nicht auf die je nach  
Anwendungsfall und Umfang breiten  
Möglichkeiten zum Bau der  
Anwendung eingegangen. Von  
einfacheren JavaScript-Bibliotheken  
wie WebGL bis zu dedizierten Game  
Engine kann eine VR Anwendung  
entwickelt werden. Die Arbeitsschritte  
bis zur fertigen Anwendung bleiben  
jedoch vergleichbar:</p>

<p>

---

*Abbildung 3: Die Abbildung zeigt den schematischen Workflow für eine VR Anwendung. Zunächst werden Eingabedaten in verschiedenen Formaten in eine 3D-Modellierungssoftware oder Game-Engines importiert. Modelle können manuell oder rechnergestützt generiert und für Visualisierungen genutzt oder in Game-Engines weiterverarbeitet werden. Anwendungen aus Game-Engines können anschließend auf Webplattformen und VR-Headsets bereitgestellt werden*<sup>[16](#fn:12)</sup>. Die Softwarepakete sind nicht umfassend und stellen einzig bekannte Beispiele dar.



---

<p style="text-align: justify;">Zunächst müssen als Eingabedaten Modelle von realen Objekten erstellt oder bezogen werden. Beispiele für die Erstellung beinhalten die selbstständige Modellierung, der Bezug von existierenden Modellen oder prozedurale Erzeugung. Im Anschluss werden das bzw. die Modelle in eine 3D Modellierungssoftware oder 3D Game Engine übertragen, um aus den einzelnen Modellen eine 3D Anwendung zu erzeugen. Die Grenzen zwischen Modellierungssoftware und 3D Game Engine sind dabei nicht trennscharf. Zum Beispiel ermöglicht Blender neben der Modellierung auch direkte Animation. Die fertige Applikation wird anschließend auf dem Zielgerät oder der Präsentationssoftware aufbereitet.</p>

<h3 id="entwicklungsumgebung">Entwicklungsumgebung</h3>  
<p>Dieser theoretische Workflow kann in Bezug auf unsere Vorgaben und Konzeption, wie folgt konkretisiert werden</p>

<p>  
<em>Abbildung 4: Konkretisierung des theoretischen Workflows für die Entwicklung einer VR Anwendung über die Ohlendorff'sche Villa</em></p>

---

Für unsere Anwendung wurden primär existierende 3D Modelle im Vektorformat verwendet. Der Begriff der Vektordaten ist hier nicht beschränkt auf Vektordaten, wie sie typischerweise in geographischen Informationssystemen vorkommen. Die Daten wurden entweder von der Kursleitung zur Verfügung gestellt, selbstständig modelliert oder vorhandene kostenfreie Modelle aus dem Internet verwendet. Im Anschluss wurden die Daten in [Blender](https://www.Blender.org/) aufbereitet. Dies umfasste alle Schritte, welche notwendig sind, um keine weiteren Veränderungen in einer Game Engine vorzunehmen. Hierzu zählen insbesondere die Positionierung, Modellierung und Texturierung. Zusätzlich zu Blender wurden [BlenderGIS](https://Blender-addons.org/Blendergis-addon/) und [Rigacar](https://Blender-addons.org/rigacar/) als Erweiterungen verwendet. Die speziellen Nutzungen werden in der Implementierung konkretisiert. Die Entscheidung Blender zu verwenden liegt hauptsächlich in der hohen Flexibilität inklusive der einfacheren Programmierung, sowie dem Vorteil, dass das Open-Source Projekt den Studierenden dauerhaft zur Verfügung steht und alle gängigen Betriebssysteme unterstützt werden. Hierdurch ist der Lerneffekt auch auf andere Projekte übertragbar.

---

Die aufbereiteten Modelle wurden im Anschluss in [Unreal Engine 5.X](https://www.unrealengine.com/en-US) (UE) importiert. UE wurde verwendet, um jegliche Form der Interaktion von der Bewegung in der VR Umgebung bis zum Licht zu erstellen. Über [SteamVR](https://store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/?l=german) wurden die Anwendung im Anschluss auf eine HTC Vive Pro transferiert und getestet. Dieses Setup war im Wesentlichen durch die Aufgabenstellung vorgegeben, sodass die Verwendung einer alternativen Game Engine oder HMD nicht diskutiert wurde.

Das System der HTC Vive Pro setzt sich neben dem HMD aus zwei Motion-Controllern und zwei Tracking Sensoren zusammen. Mittels des Trackings kann das HMD, sowie die Motion-Controller im Raum verortet werden und ermöglichen die freie Bewegung einem Raum von ungefähr 4.5m × 4.5m. Mittels der Controller kann mit der VR Welt in Interaktion getreten werden. Ergänzend dazu sind im HMD ein Näherungssensor, ein Beschleunigungssensor und ein Gyroskop verbaut. Neben dem Display existieren Lautsprecher sowie haptische Rückmeldungen durch die Controller<sup>[17](#fn:17)</sup>

[17](#fn:17)

4. Implementierung

---

<p style="text-align: justify;">In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Schritte und Details zur Implementierung der Konzeption genauer erläutert. Dabei wird von der Interaktion mit der Welt über die Objekten im Außenbereich in den Innenbereich gearbeitet.</p>

<h2  
id="bewegung">Bewegung</h2>  
<p style="text-align: justify;">Um in Interaktion mit der VR Welt zu treten, wurden die Tasten des Controllers mit unterschiedlichen Funktionalitäten belegt. Neben der intuitiven freien Bewegung im 4.5m × 4.5m Raum des Trackingraums wurde das Trackpad des rechten Controllers mit einer Vorwärtsbewegung in zwei Geschwindigkeitsstufen belegt. Die Bewegungsrichtung wird, wie in der Realität, mittels der Blickrichtung bestimmt. Um kleinere Hindernisse zu überwinden, ist die Triggertaste des rechten Controllers mit dem Sprung des Nutzenden belegt. Neben der klassischen selbständigen Bewegung gibt es in der VR-Szene zwei Trigger, welche die Position der Spieler:in verändern. Hierdurch wird der Spielende von der Scheibe auf Höhe eines Heißluftballons teleportiert, um die vollständige Szene in unterschiedlichen Lichtstimmungen beobachten zu können.</p>

---

<p style="text-align: justify;">Wenn der rechte Controller mit der Bewegungssteuerung des VR Pawns belegt ist, wird der linke Controller verwendet, um in Interaktion mit der Welt zu treten. So kann die Lupe über die Griffe aufgehoben werden, die Eingabe im Widget mittels des Triggers getätigt werden oder die Tür durchs Trackpad geöffnet werden.</p>  
<p style="text-align: justify;">Zusammenfassend ist die Tastenbelegung, wie folgt festgelegt wurden:</p>

<p>  
<em>Abbildung 5: Belegung der Controller-Tasten für Interaktionen in der VR-Anwendung</em></p>

<h2 id="außenbereich">Außenbereich</h2>

---

Das relevant Gebiet wurde in QGIS eingezeichnet und in Blender importiert. Das einfache aber durch BlenderGIS richtig positionierte Polygon wurde daraufhin extrudiert. Damit die Nutzenden nicht aus der Welt fallen können, wurde eine Kollisionsbox um die Scheibe erzeugt. Auf dieser Scheibe wurden drei unterschiedliche amtliche Geodatenätze platziert. Als Hintergrund, der das Gebiet vollständig bedeckt, wurden Daten über den Arten- und Biotopschutz gewählt<sup>[13](#fn:13)</sup>. Aufbauend darauf wurden die Feinkartierung der Straßen mit deren expliziter Nutzung hinzugefügt<sup>[14](#fn:14)</sup>. Der Datensatz wurde im Vorfeld leicht modifiziert um auch die Wege innerhalb des Ohlendorff'schen Park darzustellen. Zuletzt wurden die Level of Detail I Daten von Hamburg verarbeitet, wobei die Daten zunächst in CityJSON konvertiert wurden und im Anschluss zugeschnitten wurden<sup>[15](#fn:15)</sup>. Die Gebäude wurden ebenfalls entsprechend der attribuierten Höhe extrudiert. Anschließend wurde die jeweiligen Modellen orientiert am angestrebten Kartenstil mit neutralen Farben eingefärbt. Die Wirkung des resultierenden Modelles stellt sich wie folgt dar:

---

```
<model-viewer
src="https://jp-hecht.github.io/3DVI
S/assets/model/Base.glb" alt="3D
model" camera-controls=""
auto-rotate="" exposure="1"
shadow-intensity="1" ar=""
style="width: 100%; height: 40vh;">
</model-viewer>
<p><em>Modell 1: Der
Außenbereich der Ohlendorff’schen
Villa nach der Integration von
amtlichen Geodaten. Die Villa selbst
wird nicht gezeigt. Die Basis Scheibe
wurde nicht dargestellt, da diese zu
Artefakten geführt hat. Bei der
Gesamtansicht des Modells sind in
Teilen noch weitere Artefakte zu
beobachten. Die Artefakte konnten in
der finalen VR Applikation nicht
beobachtet werden.</em></p>
```

```
<p style="text-align:
justify;">Ebenfalls wurden Versuche
unternommen, ein digitales
Höhenmodell zu integrieren, da die
Villa in den Hang hinein gebaut
wurde. Jedoch ist die Auflösung der
amtlichen Daten für eine VR
Anwendung zu gering und die eher
geringen Höhenunterschiede sind ohne
Überhöhung nicht erkennbar.
Gleichzeitig führte eine Integration zu
massiven Performanceverlusten. Als
Folge wurde die Idee verworfen.</p>
```

---

<p style="text-align: justify;">Um die Immersion der Nutzenden zu erhöhen, wurden weitere Elemente der realen Umwelt der Applikation hinzugefügt. Als dominante Elemente wurden Modelle von Bäumen, Gebüsch, Steinen, Autos und Laternen der Szene hinzugefügt. Die Modelle konnten alle frei verfügbar im Internet gefunden werden und wurden in Blender einzig eingefärbt und/oder durch Streckung, Drehungen oder Expansion leicht modifiziert, um visuelle Variation zwischen bspw. Baumtypen herzustellen. Alle zusätzlichen Elemente wurden nicht in einer realistischen Anzahl dargestellt. Diese Entscheidung resultiert aus Experimenten, die zeigen, dass zu viele Elemente die Nutzenden visuell überfordern und somit keinen Mehrwert bringen. Das resultierende Modell sieht, wie folgt aus:</p>

<model-viewer  
src="https://jp-hecht.github.io/3DVIS/assets/model/BaseFill.glb" alt="3D model" camera-controls=""  
auto-rotate="" exposure="1"  
shadow-intensity="1" ar=""  
style="width: 100%; height: 40vh;">  
</model-viewer>  
<p><em>Modell 2: Vollständiger Außenbereich der VR Applikation zur Ohlendorff'schen Villa in Hamburg Volksdorf. Erneut wurde die Villa ausgelassen.</em></p>



---

<p style="text-align: justify;">Abseits der unterschiedlichen Modelle sorgen eine Geräuschkulisse, die Bewegung der Autos und ein Tag-Nacht Rhythmus samt verbundener Lichter für eine höhere Immersion und spielen gleichzeitig mit den Nutzenden beim Betreten der Villa mit gestohlenen Kunstgegenständen. Visuell am auffälligsten ist der Tag-Nacht-Rhythmus. Hierzu wurde der Blueprint des Sun Position Calculators so verändert, dass ein realitätsnaher Sonnen- und Mondverlauf je nach Position auf der Erde ermöglicht wird. Neben der Definition einer Position auf der Erde lassen sich auch Parameter über die Intensität und Größe sowie Material der Sterne kontrollieren. Die Hauptbestandteile des Blueprints sind zwei direktionale Lichter, die als Sonne und Mond dienen und durch eine Wolkenatmosphäre ergänzt werden. Die Lichter sorgen für die Beleuchtung der Szene zu beiden Tageszeiten und können unter anderem in ihrer Intensität angepasst werden. Die umgebende Atmosphäre sorgt für die Brechung des Lichtes und erzeugt damit eine blaue Himmelsfarbe. Die weiteren Elemente sind primär als Ergänzung und Vervollständigung der Szene zu sehen. Hierzu zählen die sichtbaren Wolken, die Emission von Licht durch den Himmel und der Nebel, welcher dafür sorgt, dass die Drehung außerhalb der Scheibe unsichtbar wird. Die Vielzahl an möglichen Parametern wurde iterativ ausgetestet, wobei auf Basis dieses Blueprints eine vollständig andere Stimmung möglich ist. Als ergänzende Interaktion und als Aussichtsplattform kann ein Heißluftballon über einen kleineren Ballon im Außenbereich

41<em>besucht</em> werden.</p>

---

Im Kontext dieser Implementierung wird auch ermöglicht, unterschiedliche Lichter je nach Tageszeit an und auszuschalten. Diese Funktionalität benötigt durch die Berechnung der Schatten viele Ressourcen und wurde einzig in einem Innenraum, sowie der Straßenbeleuchtung verwendet. Ähnlich dazu wurde ein Material erzeugt, welches auch auf die Tageszeit reagiert und bei den Fahrzeugen dazu führt, dass die Leuchter die Farbe in der Tag und Nacht wechseln. Zwei resultierende Beispiele können hier gezeigt werden:

`<p id="haus">  
<em>Abbildung 6: Überblick eines  
Tag-Nacht-Rhythmuses über die ganze  
Insel. Neben der Veränderung des  
Lichtes lässt sich bereits die Bewegung  
der Fahrzeuge erkennen.</em></p>`

`<p>  
<em>Abbildung 7: Detailaufnahme  
des Tag-Nacht Rhythmuses inklusive  
der sichtbaren Veränderung der  
Innenbeleuchtung</em></p>`

---

<p style="text-align: justify;">Um die hier sichtbaren Fahrzeuge zu bewegen, wurden diese in Blender mittels Rigacar vorbereitet, sodass aus einem statischen Netz ein Skelettnetz erzeugt wurde. Hierdurch wurden die Größe vereinheitlicht, die einzelnen Räder bewegbar gemacht und der Drehpunkt für den späteren Blueprint aufbereitet. In der Theorie ist es mit einem solchen Fahrzeug möglich, dass ein Actor einsteigen und fahren kann. Dem jeweiligen Fahrzeug wurde ein Blueprint hinzugefügt, der die Fahrzeuge auf einem Spline bewegen lässt und diesen vorher selbständig auffindet. Insgesamt wurde je ein Spline für jede Fahrtrichtung implementiert. Außerhalb der Scheibe sind Markierungen gesetzt, welche die jeweiligen Fahrzeuge erkennen, auf eine Liste schreiben und sichtbar oder unsichtbar machen, je nachdem ob diese bereits auf der Liste existieren. Grundlegend versucht die Komponente, sobald der Spline gefunden wurde, zunächst die Position auf dem Spline zu bestimmen. Daraufhin sucht die Komponente ausgehend von der Front des Akteurs die nächste Zielposition und bewegt anschließend das Fahrzeug Richtung des Zieles. Dieser Prozess wiederholt sich, bis der Prozess gestoppt würde. Das Ergebnis stellt sich, wie folgt dar:</p>

<p>

---

*Abbildung 8: In der Animation sind drei fahrende Fahrzeuge sichtbar. Der Sportwagen wurde für die Animation an einer ungewöhnlichen Stelle positioniert und fand den Spline automatisiert.*

---

Zuletzt wurden unterschiedliche Sounds der Umgebung hinzugefügt. Dabei unterscheidet sich die Komplexität der Sounderstellung. Für die sich bewegenden Fahrzeuge wurde relativ einfach ein Motorensound hinzugefügt und überall in der Welt wurden Vogelgeräusche hinterlegt. Die Vogelgeräusche wurden so implementiert, dass jeweils zufällig zwei von acht möglich Sounds kombiniert in Wiederholung gespielt werden. Deutlich komplexer sind die adaptiven Windgeräusche. Das Grundkonzept ist, dass sich Windgeräusche je nach Umgebung der VR-Spieler:in in der Lautstärke verändern, sodass auf einer freien Fläche der volle Sound erklingt und in engen Umgebungen deutlich weniger Windgeräusche. Um diesen Effekt zu ermöglichen, wurde eine Actor Component dem VR Pawn hinzugefügt. Innerhalb dieser Komponente wird zunächst ein aus zwei verschiedenen starken Windgeräuschen zusammengesetzter Sound erzeugt. Ausgehend davon wird ein Timer gestartet, der je nach Zeiteinheit eine Anpassung der Windlautstärke vornimmt. Die Anpassungsstärke wird dabei durch die Veränderung von emittierten Linien der Komponente ermittelt. Hierzu werden bspw. sechs Linien vom Pawn ausgestrahlt, sobald diese Linie ein Objekt trifft, verändert sich der Wert der Linie. Entsprechend muss die Intensität der Windgeräusche verringert werden, sobald mehrere Linien geringere Werte anzeigen. Nach Ermittlung dieses Wertes findet zunächst eine Interpolation statt, um abrupte Veränderungen zu vermeiden. Dieser interpolierte Wert wird im Anschluss verwendet, um die Lautstärke zu verändern.

---

<p>  
<em>Abbildung 9: Die Animation  
zeigt die Bewegung des VR-Spielers,  
welcher sich einer engeren Umgebung  
nähert. Sichtbar sind ebenfalls die  
Linien vor der Spieler:in, welche sich  
bei Annäherung an ein Objekt grün  
färben. Die aufgezeichneten blauen  
Werte zeigen eine Verringerung der  
Werte und dadurch auch eine  
Reduktion der  
Windgeräusche.</em></p>

<h2 id="ohlendorffsche-villa-und-  
innenbereich">Ohlendorff'sche Villa  
und Innenbereich</h2>

<p style="text-align: justify;">Das  
vollständig modellierte Modell der  
Ohlendorff'schen Villa wurde im  
Anschluss texturiert. Die Textur ist  
wesentlich für die Immersion, da durch  
diese eine Simulation der  
Oberflächenmerkmale, wie Farbe,  
Muster oder Materialeigenschaften,  
von Objekt erreicht wird. Um eine  
ausreichend hohe Performance zu  
erreichen, ist es im Normalfall nicht  
möglich, bspw. einzelne Mauersteine  
samt Furchen zu modellieren.</p>

---

Die praktische Realisierung erfolgte ebenfalls in Blender. Frei verfügbare Texturen, die vielfältige Material- und Oberflächendaten bieten, wurden importiert und in Blenders Shader Editor mithilfe des Principled BSDF Shaders zu einem realistischen Materialsystem kombiniert. Da die importierten Texturen nicht automatisch optimal auf die 3D-Modelle passen, war ein manuelles UV-Mapping notwendig. Dieser Prozess umfasst das UV Unwrapping zur Entfaltung der Oberflächen auf eine zweidimensionale Ebene sowie eine anschließende UV-Optimierung, um Verzerrungen zu vermeiden. Ergänzend wurden verschiedene Mapping-Techniken wie Box Projection Mapping und Manual Projection Painting eingesetzt, um die Texturen präzise auszurichten.

---

<p style="text-align: justify;">Der Innenbereich unserer VR-Anwendung wird durch eine bewegliche interaktive Tür betreten, worauf der Nutzende im Empfangsraum landet. Der Empfangsraum beinhaltet keine weitere Interaktion oder Animation. Im vom Nutzenden rechten Raum wurde ein Kunstraum inklusive Interaktion implementiert. Gezeigt werden insgesamt fünf bedeutende gestohlene Gemälde samt Informationstafeln. Das wertvollste gestohlene Gemälde ist jedoch nicht direkt ausgestellt und muss über eine Zahlenkombination aus einer Truhe <em>geholt</em> werden. Um die Zahlenkombination ausfindig zu machen, können die Nutzenden eine Lupe aufnehmen und mittels der Lupe in drei der fünf Bilder eine Zahl finden. Nachdem der Zahlencode in ein Widget eingegeben wurde, öffnet sich die Truhe mit dem sechsten wertvollsten Gemälde. Details zur Implementierung können im Bericht von <a href="https://jp-hecht.github.io/3DVIS/Madelaine/">Madelaine Linek</a> nachvollzogen werden. Das Ergebnis gestaltet sich, wie folgt:  <em>Abbildung 10: VR Aufnahme des Kunstzimmers.</em></p>



---

<p style="text-align: justify;">Im Musikzimmer wurden sieben Instrumente aus unterschiedlichen Regionen der Welt ausgestellt. Die Auswahl der Instrumente reicht von einem Klavier bis zu in Europa unbekannten Instrumenten, wie der Djembe einer westafrikanischen Trommel. Als Interaktion in diesem Raum werden Beispielssoundsequenzen des Instrumentes auf Annäherung gespielt. Durch die Kombination aus visueller Betrachtung als auch prägnanten Musikbeispiel kann eine Verbindung zu virtuellen Welt hergestellt werden.</p>

<h1 id="5-fazit">5. Fazit</h1>

---

Insgesamt konnte die in der Konzeption geplante VR-Anwendung in weiten Teilen erfolgreich umgesetzt werden. Besonders der detailreiche Innenbereich des Hauses sowie der stilisierte Außenbereich tragen zu einem stimmigen Gesamteindruck bei. Neben dem Gesamteindruck konnten erfolgreich und zielführend Geodaten verwendet werden. Ebenfalls konnte mit der verwendeten Hardware eine Framerate und folglich die Reduktion der Wahrscheinlichkeit von Motion Sickness erreicht werden, was auf bewusste Entscheidungen in der Konzeption zurückzuführen ist. In Bezug auf die Performance kann auch angemerkt werden, dass es mit einer Ausnahme nur Warn- und Fehlermeldungen gibt, die erwartbar sind und nicht ohne größeren Aufwand gelöst werden können. Zu den positiven Aspekten können. Dies kann innerhalb der Rahmenbedingungen, wie die fehlenden Erfahrungen der Gruppenmitgliedern in 3D Game Engines oder der Modellierung, sowie die erhöhte Komplexität einer Gruppenarbeit eingeordnet werden.

Bei detaillierter Betrachtung können jedoch einige Herausforderungen vorgefunden werden. Zu den Aspekten zählen:

---

<li><strong>Versionskontrolle:</strong>

Die Zusammenarbeit mit mehreren Entwickler:innen erfordert eine strukturierte Versionierung. Hier wäre es sinnvoll, in zukünftigen Projekten mehr Zeit in ein konsistentes Versionsmanagement zu investieren, um Fehler, die auftauchen werden, leichter beheben zu können.</li>

<li><strong>Praktische VR-Tests:</strong> Zwar wurden während der Entwicklung durchgehend Tests der Anwendung mittels der VR Brillen unternommen. Trotz dessen verhielten sich verschiedene Interaktionen und Animationen in Simulation und Spiel unterschiedlich. In weiteren Projekten sollte der Fokus in der Entwicklungsumgebung verbessert werden.</li>

<li><strong>Außenbereich:</strong> Der Außenbereich entspricht der Konzeptionen und den Vorstellungen der Gruppe. Jedoch wurden keine Experimente mit einer leicht stärker ausgestalteten Welt durchgeführt, um einen Vergleich zu haben und somit eine bewusstere Entscheidung treffen zu können.</li>

<li><strong>Funktionale Einschränkungen:</strong>  
<ul>

---

<li>Tag-Nacht-Rhythmus: Die Entscheidung, zwei direktionale Lichter (Mond und Sonne) zu verwenden, erzeugt Einschränkungen in Bezug auf die Intensität bzw. die Berechnung des Höhennebels und stellt folglich einen Kompromiss dar. Die Problematik liegt im Fakt, dass beide Lichter versuchen, einen Schatten zu berechnen und sich de facto zu blockieren. Die Ursache – ein Implementierungsfehler oder falsche Einstellungen – konnte bis Projektabgabe nicht aufgefunden werden.</li>

<li>Windgeräusche: Der Wind wird beim Laden der Szene automatisch aktiviert und kann nur über Parameter abgeschwächt, aber nicht vollständig deaktiviert werden. Diese Tatsache ist der Implementierung über einen eigenen Timer geschuldet, welcher nicht einfach deaktiviert und erneut aktiviert werden kann.</li>

<li>Interaktions- und Animationsqualität: Einige Interaktionen wirken noch simpel und wenig realitätsnah. Ein Beispiel ist das Musikzimmer, das lediglich Musik abspielt, ohne spürbar auf die Nutzenden zu reagieren.</li>

</ul>

</li>

</ul>

---

```
<p style="text-align:
justify;">Zusammenfassend wurde
mittels des Projektes eine gute
Grundlage geschaffen, um in Zukunft
und in Verbindung mit den gewonnen
Erkenntnissen ausgebaut werden kann.
Dabei sind die grundlegenden
Elemente vorhanden und die weiteren
möglichen Schritte können den
Immersionsgrad weiter erhöhen und
intensiveren.</p>
```

```
<!-- <script type="module"
src="https://unpkg.com/@google/model-
viewer@4.0.0"></script> -->
```

```
<script type="module" src="https://
cdn.jsdelivr.net/npm/@google/model-
viewer@latest"></script>
```

```
<script src="https://unpkg.com/leaf
let@1.9.4/dist/leaflet.js"></script>
```

```
<link rel="stylesheet"
href="https://unpkg.com/leaflet@1.9.
4/dist/leaflet.css" />
```

```
<style>
/* Ensure the map and 3D viewer
have fixed sizes */
.content-container {
max-width: 800px; /* Adjust to your
needs */
margin: 0 auto; /* Centering */
}
```

```
.map-container {
width: 100%;
height: 40vh; /* Responsive height */
```

---

```
border: 1px solid #ccc; /* Optional
border */
}
</style>
```

```
<h1 id="literatur">Literatur</h1>
<div class="footnotes"
role="doc-endnotes">
<ol>
<li id="fn:1" role="doc-endnote">
<p>Jeong Kim, Xiangyu Wang, Peter
Love, Heng Li & Shih-Chung
Kang (2013). Virtual reality for the
built environment: a critical review of
recent advances, ITcon Vol. 18, pg.
279-305,
https://www.itcon.org/2013/14 <a
href="#fnref:1"
class="reversefootnote" role="doc-
backlink">¶</a> <a
href="#fnref:1:1"
class="reversefootnote" role="doc-
backlink">¶<sup>2</sup></a></p>
</li>
<li id="fn:4" role="doc-endnote">
<p>Artur Becker & Carla M.
Dal Sasso Freitas (2023). Evaluation
of XR Applications: A Tertiary
Review. ACM Comput. Surv. Vol. 56,
5, 110 pg.1-35
https://doi.org/10.1145/3626517 <a
href="#fnref:4"
class="reversefootnote" role="doc-
backlink">¶</a></p>
</li>
<li id="fn:2" role="doc-endnote">
```

---

<p>Yuxuan Zhang, Hexu Liu,  
 Shih-Chung Kang & Mohamed  
 Al-Hussein (2020). Virtual reality  
 applications for the built environment:  
 Research trends and opportunities.  
 Automation in Construction. 118.  
 10.1016/j.autcon.2020.103311 <a  
 href="#fnref:2"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a> <a  
 href="#fnref:2:1"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;<sup>2</sup></a></p>

</li>  
 <li id="fn:25" role="doc-endnote">  
 <p>Manfred Ehlers & Jochen  
 Schiewe (2012). Geoinformatik.  
 Raumforschung und Raumordnung.  
 WBG Academic. Darmstadt.  
 10.1007/s13147-012-0183-x. <a  
 href="#fnref:25"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a></p>

</li>  
 <li id="fn:3" role="doc-endnote">  
 <p>Paul Milgram, Haruo Takemura,  
 Akira Utsumi & Fumio Kishino  
 (1994). Augmented Reality: A class of  
 displays on the reality-virtuality  
 continuum. Proceedings of SPIE - The  
 International Society for Optical  
 Engineering Vol. 2351 <a  
 href="#fnref:3"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a></p>

</li>  
 <li id="fn:5" role="doc-endnote">

---

<p>Isabell Wohlgenannt, Alexander  
 Simons & Stefan Stieglitz (2020).  
 Virtual Reality. Bus Inf Syst Eng. Vol.  
 62, pg. 455–461.  
<https://doi.org/10.1007/s12599-020-00658-9> <a href="#fnref:5"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a> <a  
 href="#fnref:5:1"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;<sup>2</sup></a></p>

</li>  
 <li id="fn:6" role="doc-endnote">  
 <p>Übersetzt aus: Åsa  
 Fast-Berglund, Liang Gong &  
 Dan Li (2018): Testing and validating  
 extended reality (xR) technologies in  
 manufacturing. Procedia Manuf. Vol.  
 25, pg. 31-38.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.054> <a  
 href="#fnref:6"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a></p>

</li>  
 <li id="fn:8" role="doc-endnote">  
 <p>Gerhard Hirschfeld (2009).  
 Historie - Die Ohlendorff'sche Villa.  
<https://ohlendorffsche.de/historie/>  
 [Zugriff: 19.03.2025] <a  
 href="#fnref:8"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a></p>

</li>  
 <li id="fn:10" role="doc-endnote">  
 <p>o.A. (o.J). Umbau und Sanierung  
 - Die Ohlendorff'sche Villa.  
[https://ohlendorffsche.de/umbau-und-  
 sanierung/](https://ohlendorffsche.de/umbau-und-sanierung/) [Zugriff: 19.03.2025] <a  
 href="#fnref:10"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a></p>

</li>  
 <li id="fn:11" role="doc-endnote">



---

<p>Thitiwudh Uasmith, Tantikorn Pukkaman & Peeraya Sripian (2017). Low-poly image stylization. Journal for Geometry and Graphics, Vol. 21, 1, pg. 131-139. <https://shibaura.elsevierpure.com/en/publications/low-poly-image-stylization> <a href="#fnref:11" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>

<li id="fn:23" role="doc-endnote">
 <p>Markus Jobst & Timothy Germanchis (2007). The paradigm of 3D cartography. Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference (ICC). 10.1007/978-3-540-36651-5\_15. <a href="#fnref:23" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>
 </li>

<li id="fn:22" role="doc-endnote">
 <p>Menno-Jan Kraak, Ferjan Ormeling (2020). Cartography: Visualization of spatial data. Ed.4. Routledge. <a href="#fnref:22" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>
 </li>

<li id="fn:16" role="doc-endnote">
 <p>Asmaa Saeed Alqahtani, Lamya Foad Daghestani & Lamiaa Fattouh Ibrahim (2017). Environments and system types of virtual reality technology in STEM: a survey. International Journal of Advanced Computer Science and Applications Vol. 8, 6. 10.14569/IJACSA.2017.080610. <a href="#fnref:16" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>
 </li>

<li id="fn:18" role="doc-endnote">

---

<p>Christoph Anthes, Rubén Jesús  
 García-Hernández, Markus  
 Wiedemann & Dieter  
 Kranzlmüller (2016). State of the art  
 of virtual reality technology. IEEE  
 Aerospace Conference, Big Sky, MT,  
 USA. pg. 1-19.  
 10.1109/AERO.2016.7500674. <a  
 href="#fnref:18"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a> <a  
 href="#fnref:18:1"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;<sup>2</sup></a></p>

</li>  
 <li id="fn:19" role="doc-endnote">  
 <p>Übersetzt aus: Sara Qamar,  
 Zahid Anwar & Mehreen Afzal  
 (2023). A systematic threat analysis  
 and defense strategies for the  
 metaverse and extended reality  
 systems. Computers & Security  
 Vol. 128, 103127. <a href="#fnref:19"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a> <a  
 href="#fnref:19:1"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;<sup>2</sup></a> <a  
 href="#fnref:19:2"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;<sup>3</sup></a></p>

</li>  
 <li id="fn:12" role="doc-endnote">  
 <p>Verändert und erweitert: Alex  
 Klippel, Mahda M. Bagher & Jan  
 Oliver Wallgrün (o.J). 3D and VR  
 Application Building Workflows.  
 https://www.e-  
 education.psu.edu/geogvr/node/559  
 [Zugriff: 19.03.2025] <a  
 href="#fnref:12"  
 class="reversefootnote" role="doc-  
 backlink">&#8617;</a></p>

</li>  
 <li id="fn:17" role="doc-endnote">

---

<p>HTC Corporation (o.J.). VIVE Product Specification. <https://www.vive.com/eu/product/vive/> [Zugriff: 19.03.2025] <a href="#fnref:17" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>

</li>

<li id="fn:13" role="doc-endnote">  
<p>Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (2024). Daten: Arten- und Biotopschutz - AuBS (ehem. APRO). <https://registry.gdi-de.org/id/de.hh/B8F6865A-1790-4B9D-987E-AF97B88E84D3> [Zugriff: 12.12.2024] <a href="#fnref:13" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>

</li>

<li id="fn:14" role="doc-endnote">  
<p>Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Verkehr und Mobilitätswende (2023). Daten: Feinkartierung Straße Hamburg. <https://registry.gdi-de.org/id/de.hh/ad7e3cb6-9a9e-4044-81b1-4c1f8d974c2f> [Zugriff: 08.12.2024] <a href="#fnref:14" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>

</li>

<li id="fn:15" role="doc-endnote">  
<p>Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (LGV) (2024). Daten: 3D-Gebäudemodell LoD2-DE Hamburg. <https://registry.gdi-de.org/id/de.hh/948321ba-e9b2-4290-88c3-8dda2912defa> [Zugriff: 01.12.2024] <a href="#fnref:15" class="reversefootnote" role="doc-backlink">&#8617;</a></p>

</li>

</ol>

---

</div>

</section>

<footer class="page\_\_meta">

</footer>

</div>

</article>

</div>

</div>

---

```
<div id="footer"
class="page__footer">
<footer>
<!-- start custom footer snippets -->
```

```
<!-- end custom footer snippets -->
<div class="page__footer-follow">
<ul class="social-icons">
```

```
<li><a href="/3DVIS/feed.xml"><i
class="fas fa-fw fa-rss-square"
aria-hidden="true"></i>
Feed</a></li>
```

```
</ul>
</div>
```

```
<div class="page__footer-
copyright">&copy; 2025 <a
href="https://jp-hecht.github.io">3D
| Visualisierung</a>. Powered by <a
href="https://jekyllrb.com"
rel="nofollow">Jekyll</a> &amp;
<a href="https:
//mademistakes.com/work/jekyll-
themes/minimal-mistakes/"
rel="nofollow">Minimal
Mistakes</a>.</div>
```

```
</footer>
</div>
```

```
<script
src="/3DVIS/assets/js/main.min.js"></script>
```

---

```
</body>  
</html>
```

---