

Immersive Media

Museum of Non-Euclidean Geometry and Illusions

Marcel Krakowczyk [Matr.-Nr.: 308929]

Robert Irrgang [Matr.-Nr.: 308619]

Abgabe: 7. August 2021

1. Zielstellung des Projektes

Das Ziel dieses Projektes ist die Erstellung einer modernen interaktiv begehbaren Museums-Szenerie mit Ausstellungen von Nicht-Euklidischen Geometrien, sowie optischen Täuschungen. Hierbei werden Objekte auf speziellen Podesten dargestellt, Bilder und Kunstwerke in besonderen Abteilen präsentiert und optische Illusionen, mittels geschickter Transformation des Spielers in verschiedenste Szenen präsentiert. Abschließend wird durch das Simulieren von Portalen eine Krümmung des dreidimensionalen Raumes ermöglicht.

2. Inspirationen des Projektes

2.1 Inspirationen

Wenn es um Illusionen und optische Täuschungen geht, ist die Bandbreite an Inspirationsmöglichkeiten sehr groß: So sind die Anfänge der optischen Täuschungskunst, insbesondere die Werke des niederländischen Künstlers Maurits Cornelis Escher, Anstoß für das Projekt gewesen. Hierbei wird die Geometrie, Spiegelungen oder auch optische Verzerrungen geschickt genutzt, um unwirkliche, in der Realität nicht mögliche Bilder zu kreieren. Beispiele von Escher hierfür sind unter anderem das Penrose-Dreieck oder auch das 1953 entstandene Bild „Relativität“.

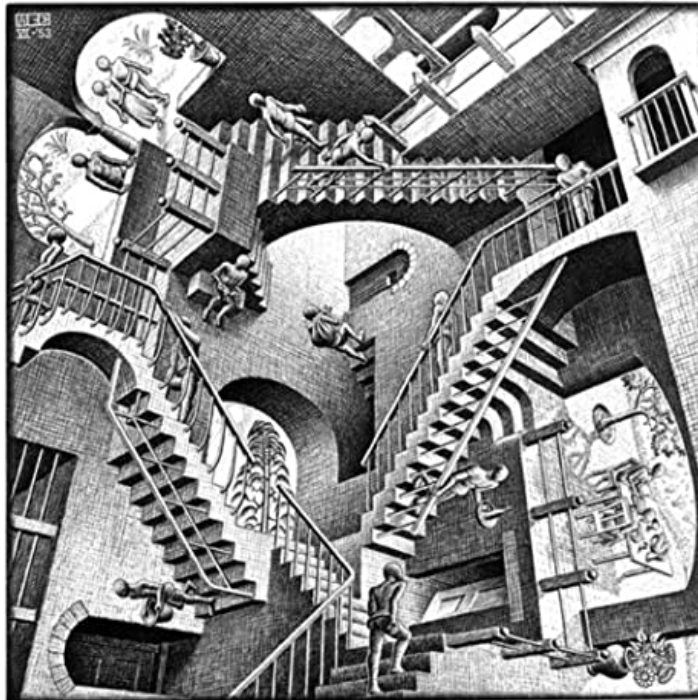


Abbildung 1: "Relativität" von M. C. Escher¹

Eine direkte Inspiration dafür, die Nicht-Euklidischen Geometrien und optischen Täuschungen im Kontext eines Museums umzusetzen, ist das „Illusion Art Museum“ in Prag gewesen. Hier werden unzählige perspektivische Tricks und Geometrien ausgenutzt, um die Besucher mit optischen Täuschungen zu begeistern, die im Rahmen eines traditionellen Museums ausgestellt werden.

¹ https://m.media-amazon.com/images/I/61BE5LjZeIL.AC_SX466_.jpg



Abbildung 2: Beispiele des Illusion Art Museum in Prag ²

Neben den traditionellen, analogen Inspirationsquellen ist besonders das 2019 erschienene Videospiel „Superliminal“ Vorbild für das Projekt gewesen. Hier schlüpft der Spieler in die Rolle eines Patienten einer psychiatrischen Klinik und löst mit Hilfe optischer Illusionen und Verzerrungen Rätsel in der First-Person-Perspektive. Mit jedem gelösten Rätsel verschwimmen die Grenzen immer weiter zwischen Realität und Illusion, wodurch der Spieler diese nicht mehr klar voneinander unterscheiden kann. Dabei wird der Spieler in die Gefühlslage des Protagonisten hineinversetzt, der den eigenen Augen wortwörtlich nicht trauen kann.

² <https://czechbyjane.com/wp-content/uploads/2019/01/Illusion-Art-Museum-1-e1547737766848.jpg>

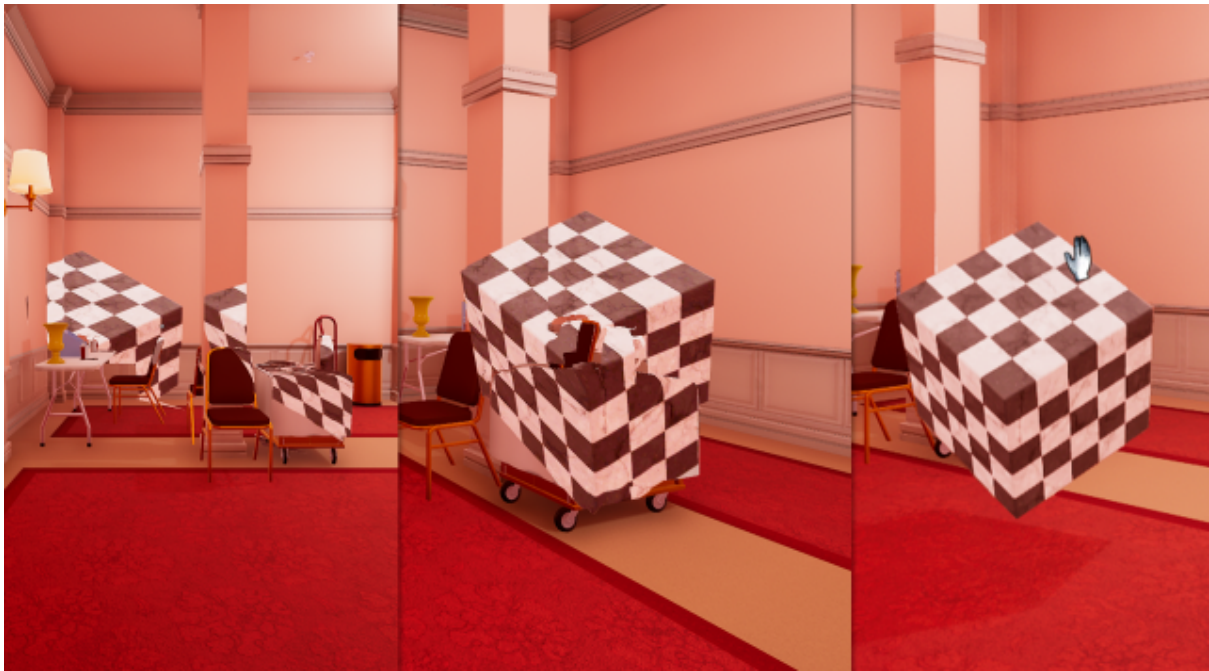


Abbildung 3: Beispiel eines Rätsels im Computerspiel "Superliminal" ³

3. Theoretische Grundlagen

3.1 Bedeutung der Geometrie in der Vergangenheit

Die Erfindung der Geometrie, mit ihrer Fähigkeit Längen, Flächen und Volumen zu bestimmen, hat ihren Ursprung weit in der Menschheitsgeschichte gefunden. Die Grundzüge stammen aus vergangenen Zeiten. So konnten bereits die Ägypter und babylonischen Völker geometrische Methoden anwenden, um die Tiefe und Länge des Nils zu bestimmen, herausragende Monumente wie den babylonischen Himmelstempel namens Zikkurat zu erbauen, oder eines der Sieben Weltwunder die Pyramiden von Gizeh in Ägypten zu planen und zu errichten. Neben diesen grandiosen Bauwerken wurde die Geometrie jedoch bis zur heutigen Zeit ebenso für die Besteuerung und Verpachtung von Grundstücken oder Ländereien, durch ein exaktes Ausmessen dieser Flächen verwendet und benötigt. Weiterhin prägten die geometrischen Grundformen viele Aspekte der heutigen Kunst. So spielen Begriffe der Symmetrie und Asymmetrie heute immer noch eine wichtige Rolle in der

³https://www.gamegrin.com/assets/Uploads/_resampled/resizedimage640354-superliminal-review-photos-1.png

Architektur und Kunstmalerei. Beispiele hierfür sind Mosaik, architektonische Kompositionen und Bilder, bei denen ihre verwendeten geometrischen Formen statisch ausgeglichen sind. Dieser Ausgleich wird durch eine Art Spiegelung mit harmonischen Zusammenspiel der linken und rechten Hälfte des Kunstwerkes erzeugt.

3.2 Grundsätze und Formen der Geometrie

Die einfachsten Formen und Bauteile der Geometrie sind Punkte, Linien, Kreise, Dreiecke, Polynome und Winkel. So können mit Linien zwei Punkte miteinander verbunden werden und ihre Distanz zueinander bestimmt werden. Diese Funktionalität wurde bereits seit Jahrtausenden in der Baukunst verwendet. Mittels Seile oder Faden wurden zwei in die Erde gesteckte Pfähle fest miteinander verbunden und die exakte Länge ermittelt. Weiterhin wird die Definition eines Winkels durch die Neigung zweier Linien zueinander bestimmt. Ihre Bedeutung für die Errichtung von Bauwerken oder Gegenstände war früher und ist heute nachwievor unabdingbar. Ferner sind Kreise in der Geometrie ein Zusammenschluss von mehreren Punkten, die einen festen Abstand zu einem Zentrumspunkt haben. Abschließend werden alle geometrische Formen als Polygone bezeichnet, wenn sie mehr als zwei miteinander verbundene Punkte aufweisen. Beispiele hierfür sind Dreiecke und Vierecke.

3.3 Postulate der Geometrie

All diese Definitionen beruhen auf den Erkenntnissen eines grandiosen griechischen Mathematikers namens Euklid von Alexandria. Er fasste im dritten Jahrhundert vor Christus in seinem Werk "Elemente" all seine Beobachtungen in fünf Gesetzmäßigkeiten zusammen. Die sogenannten Postulate der Geometrie. Ihre Definitionen bestimmen bis zur heutigen Zeit die Grundsätze der Geometrie. Jedoch sind die ersten vier Gesetze einfacher zu verstehen und weniger kontrovers als das letzte von ihm verfasste Postulat. Der erste Grundsatz definiert die Möglichkeit zwei verschiedene Punkte mit Hilfe einer Linie zu verbinden. Weiterhin bestimmte Euklid das nächste Gesetz das diese Linien unendlich lang verlängert werden können. Die Definition eines Kreises beschreibt die dritte Gesetzmäßigkeit und die vierte Bestimmung besagt das alle rechten Winkel gleich sind. Das fünfte Postulat beschäftigt sich kurz gefasst mit der Definition von parallelen Linien. So beschreibt Euklides das Gesetz damit, dass zwei unendlich lange Linien zueinander parallel

sind, wenn eine dritte Linie die vorherigen so schneidet, dass ihre Innenwinkel jeweils einen rechten Winkel darstellen. Mit anderen Worten beschrieben, sei eine unendliche Linie gegeben und ein Punkt, welcher nicht auf dieser Linie liegt, so existiert auch eine unabhängige unendliche Linie, die durch den Punkt verläuft und die vorherige Linie nicht schneidet. All diese Erklärungen führten in der Vergangenheit und im letzten Jahrhundert zur Erkennung und Erschließung von nicht euklidischen Geometrien, für welche nicht alle Gesetzmäßigkeiten stimmen.

3.4 Nichteuklidische Geometrien

Geometrische Berechnungen, Formen und Konstrukte, die nicht auf einer ebenen Fläche konzipiert wurden, sind Teile der nichteuklidischen Geometrien. Möchte man beispielsweise die Distanz zweier Länder auf einem Globus, oder der Erde messen, könnte man das vorherige Prinzip der Pfähle und der Schnur verwenden, jedoch ist das Ergebnis dieses Prozesses keine Linie sondern eine Kurve. Durch die Oberflächenkrümmung des kugelförmigen Körpers können keine geraden Linien bestimmt werden. Dennoch kann mit Kurven, welche als Geoden bezeichnet werden die kürzeste Distanz zweier Punkte auf einer kugelförmigen Oberfläche bestimmt werden. So entsprechen der Äquator, sowie der Nullmeridian als vollständige Kreissegmente, die die Erde vollständig umkreisen. Diese speziellen Kurven sind die neuen Grundbausteine der nichteuklidischen Formen. Stellt man sich nun eine Sphäre mit drei Geodäten vor, wie beispielsweise dem Äquator, Meridian und einer weiteren Longitude, so entstünden acht voneinander unterscheidbare Dreiecke, deren Innenwinkelsumme nicht 180 Grad entspricht sondern 270 Grad. Die Berührungspunkte zweier geodätischen Linien und ihrer Winkel sind in diesem Beispiel immer 90 Grad. Man spricht hier von einem sphärischen Dreieck, welches niemals in der euklidischen Geometrie, sprich auf einer ebenen Fläche, entstehen könnte. Der größte unterschied zu nicht euklidischen Geometrien ist jedoch der Fakt, das keine parallelen Linien vorhanden sind. Eine Geode auf einer sphärischen Oberfläche ist niemals unendlich und vereinigt nach einer vollständigen Umdrehung alle Punkte mit dem Startpunkt. Ebenso schneiden sich alle Geoden untereinander was das Gesetz der Parallelität bricht.

4. Arbeitsschritte und Technische Umsetzung

Zur Umsetzung der optischen Illusionen in der in Unity erstellen Museums-Szene wurden einige Verfahren und Quelldaten benötigt. Mithilfe des von Asbjørn Thirlund, oder auch unter dem Spitznamen Brackeys bekannten YouTuber, erstellten Grafik-Shaders und den in C# geschriebenen Skripten, konnte das Grundprinzip des Portal-Effektes nachgebaut und erweitert werden.

4.1 Umsetzung des Portal-Effektes

Durch gezieltes Anwenden von den in Unity vorhandenen Render-Texturen, dem bereitgestellten Grafik-Shaders von Asbjørn Thirlund und linearer Algebra, sprich Vektor- und Matrix-Berechnungen kann der Portal-Effekt umgesetzt werden. Das Grundprinzip eines nahtlosen Überganges basiert auf der vorherigen Erstellung zweier unterschiedlicher Welten oder Levels die innerhalb einer Unity-Szene vorhanden sind. Der erste Schritt zur Umsetzung, ist das Einsetzen eines Spieler-Controllers mit eigener Kamera in einer der Welten. In der gegenüberliegenden Welt wird lediglich eine zweite Kamera eingesetzt, die die Bewegungen und Rotationen der Spieler-Kamera übernimmt und nachahmt. Dabei bewegt sich die Kamera in Relation und mit einem Versatz zu dem eigenen Portal und des Portals in der Welt des Spielers. Die Ansicht der zweiten Kamera wird anschließend, als eine sich während der Laufzeit der Applikationen veränderbaren, Render-Textur gespeichert. Mittels des Shaders wird nun nur der Teil, der die Größe des Portals entspricht, aus der Render-Textur extrahiert und anschließend auf die ebene Fläche des Portals projiziert. Hierfür muss vorher die Textur in ein Material umgewandelt werden. Dieses Material muss jedoch zu Beginn der Applikation durch ein Skript mit der Textur generiert werden. Bei der Verwendung einer Ebene kann die Textur immer nur auf einer Seite projiziert werden. Dies sollte bei einer eigenen Implementierung berücksichtigt werden. Bewegt sich nun der Spieler durch eines der Portale, werden die Positionen der zweiten Kamera und des Spielers durch eine entsprechende Translation Beider auf die gegenüberliegende Seite ausgetauscht. Hierfür wird mittels Kollisionsabfrage einer weiteren Ebene mit dem Spieler eine entsprechen Teleportation durchgeführt. Der nahtlose Übergang und die Teleportation ist abhängig von der Entfernung der Teleportations-Ebene von der Render-Ebene des Portals. Ist die Entfernung zu weit oder zu kurz bricht die Illusion und eine klare Translation der Kameras ist erkennbar.

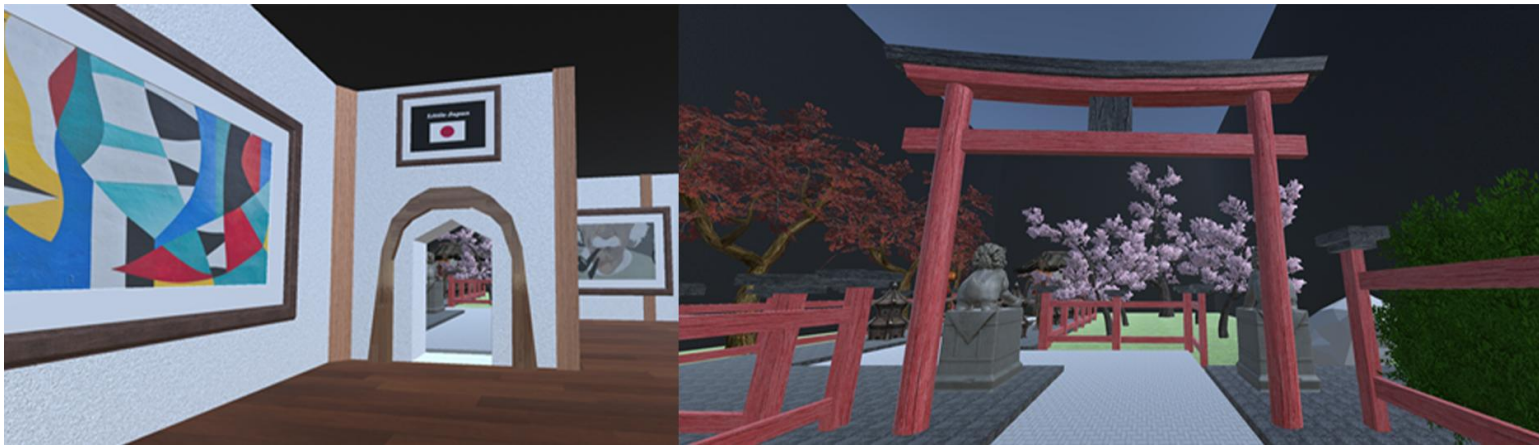


Abbildung 4: Beispiel für den Portal-Effekt - der Raum "Little Japan"

4.2 Umsetzung des Tunnel-Effektes

Der Tunnel-Effekt mit Krümmung des dreidimensionalen Raumes funktioniert ähnlich wie die Portale. Zur Erzielung einer Verkürzung oder Verlängerung eines physisch virtuellen Raumes werden mehrere Render-Texturen und Kameras benötigt. Insgesamt werden zur Umsetzung insgesamt zehn Kameras, Texturen und Materialien benötigt, welche jeweils die Bewegungen und Rotationen der Spieler-Kamera, entsprechend ihres Positions-Versatzes mit den Portalen, nachahmen, rausrendern und auf die Portal-Ebenen projizieren. Je komplexer eine Szene ist und je mehr unterschiedliche Objekte sie beinhaltet umso leistungshungriger ist diese Illusion. Dieser Effekt schlägt sich deshalb negativ auf die Performance der Grafikkarte aus. Zusätzlich muss die Translation des Spielers exakt erfolgen, um diese Illusion gezielt umzusetzen. Durch die Berechnung eines Kreuzproduktes zwischen dem Spieler und der Teleportations-Ebene kann die genaue Richtung der Ebene bestimmt werden und ein Teleportieren in nur eine Richtung gewährleisten.

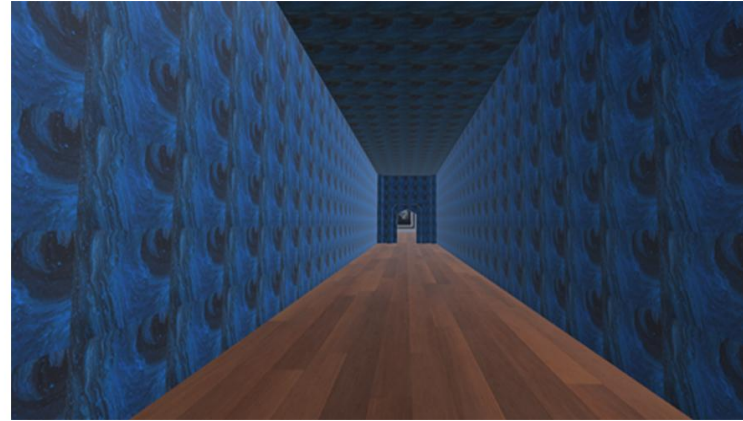
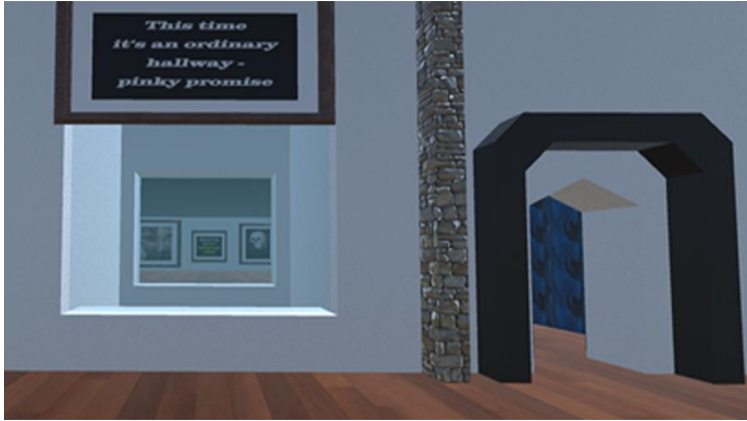


Abbildung 5: Nächster Raum scheint nicht weit entfernt - Durchgang ist tatsächlich deutlich länger

4.3 Umsetzung des Rampen-Effektes

Der Effekt einer Rampe, die den Spieler irrtümlich nach unten führt, aber diesen nach dem Heraustreten auf der oberen Ebene ankommen lässt, basiert ebenso auf dem Portal-Effekt. Anders als bei den Tunneln müssen einige der Kameras gegensätzliche Bewegungen zu der Spieler-Kamera absolvieren um diesen Effekt darzustellen. Des Weiteren ist der Versatz einiger Kameras diesmal an die vertikale Richtung gebunden und müssen so immer gegensätzlich zum Spieler bewegt werden. Das Teleportieren des Spielers erfolgt diesmal direkt in der Rampe selbst. Durch eine gezielte Rotation um 180° während der Translation des Spielers, erzeugt dies die irrtümliche Bewegung nach oben oder unten.

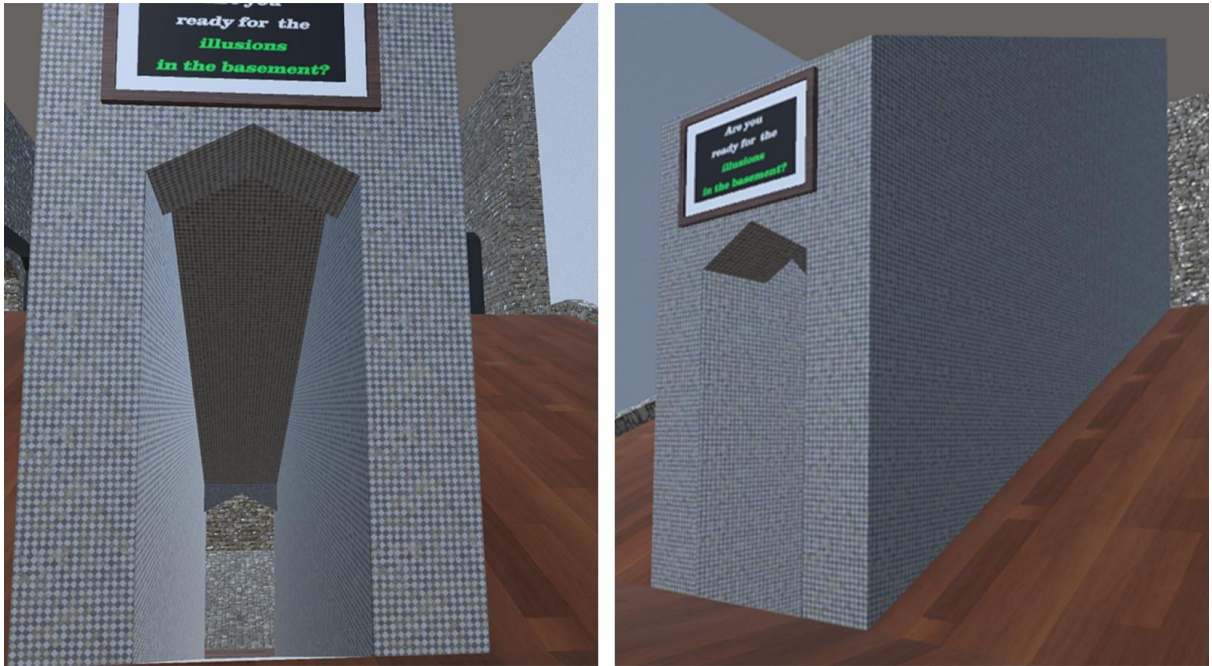


Abbildung 6: Rampe scheint nach unten zu verlaufen, aber führt tatsächlich nach oben

4.4 Umsetzung der wechselnden Objekte in einem speziellen Podest

Die Illusion der in einem speziellen Podest ausgestellten Objekten, welche sich stetig je nach Blickrichtung auf das Podest ändern, wird diesmal lediglich mit Render-Texturen, Kameras und Render-Ebenen dargestellt. Je nach Betrachtungswinkel rotieren die Kameras außerhalb um eine eigene Ausstellung, bei der immer nur eine Fläche für die Kameras durchsichtig ist. So erhält das kubische Podium innerhalb der Spieler-Welt vier Flächen auf denen jeweils eine andere Abbildung, mit einem unterschiedlichen Objekt, projiziert wird.



Abbildung 7: Auf jeder Seite des Podestes befindet sich eine andere Schachfigur

5. Weitere Impressionen des finalen Projekts

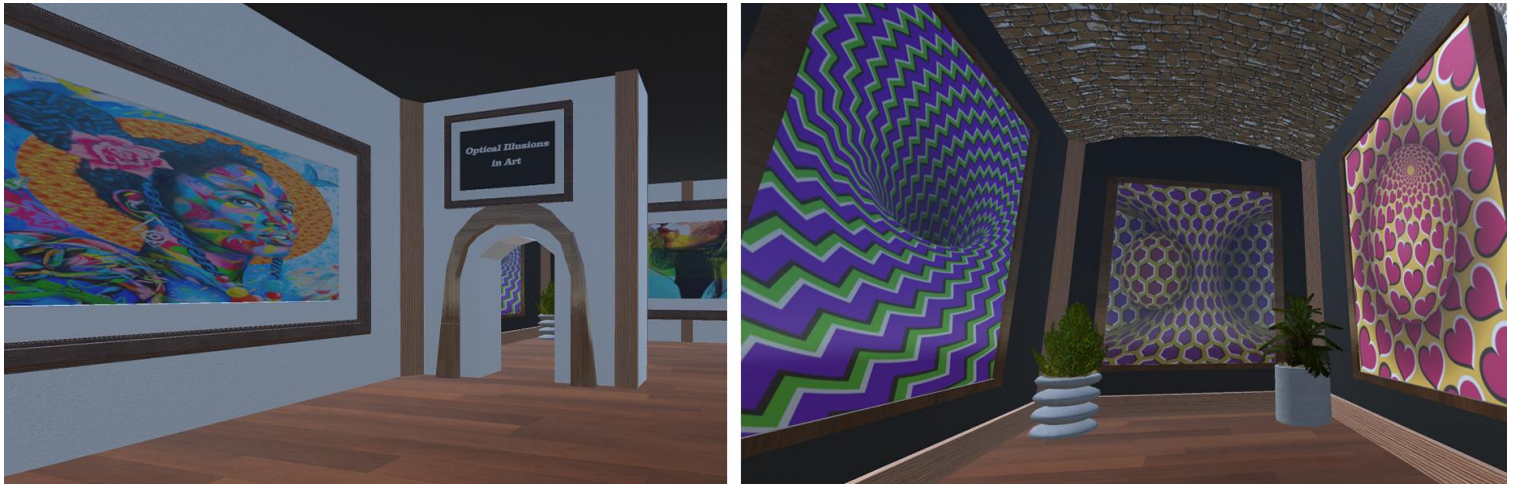


Abbildung 8 : Eine Auswahl an statischen, faszinierenden Illusionen der Kunstwelt



Abbildung 9: Labyrinth in der Top-Down-Perspektive

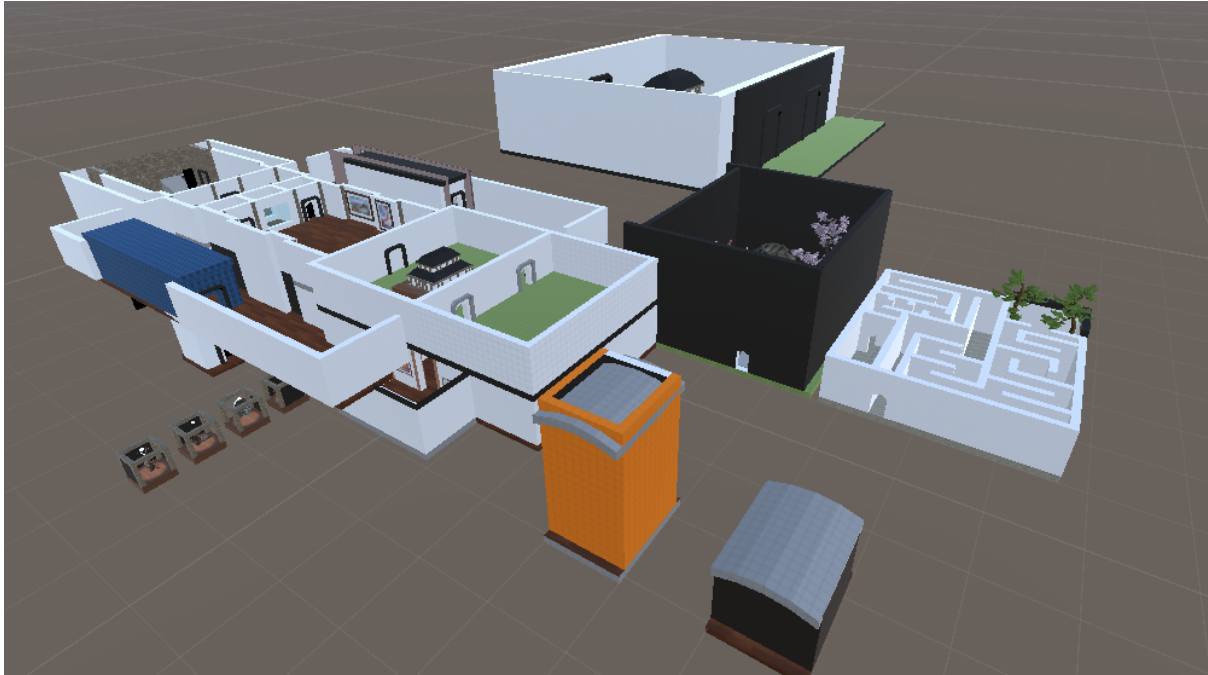


Abbildung 10: gesamtes Level-Design aus der Entwickler-Sicht in Unity

6. Möglichkeiten in der Virtuellen Realität

6.1 Neue Möglichkeiten für die Virtuelle Realität

Da der Bewegungsradius von virtuellen Applikationen nach wie vor an physischen Gegebenheiten, wie der Größe des Raumes, gebunden sind, können größere virtuelle Welten nicht ohne ein Immersionsbruch, wie künstliches Teleportieren, erkundet werden. Mithilfe der Illusionen könnte diese Problematik der Virtuellen Realität gelöst werden. Durch gezieltes Einsetzen von Portalen können ganze Welten oder Level eines Videospiels an die Größe des spielbaren Bereiches angepasst werden und so ein Begehen mit nahtlosen Übergängen ermöglichen. Leider sieht die Umsetzung dieses Konzeptes anders aus. Durch das zusätzliche Rendern der Szene, durch mehrere Kameras und das Projizieren von Ausschnitten auf den ebenen Flächen der Portale, werden immense Ressourcen von der Grafikkarte des Computers benötigt. Die Performance solcher Applikationen kann momentan noch nicht gewinnbringend stabilisiert werden, da für eine einfache Illusion eines Portals bereits zwei Kameras benötigt werden. Diese Verdopplung der Kameras beruht auf den Renderverfahren der VR-Brillen. Für jedes Auge wird in der Brille ein eigenes Bild erzeugt. Diese Bilder haben zusätzlich einen Versatz der ebenso in der Applikation berücksichtigt werden muss. Obgleich einige Verfahren zur

Optimierung solcher Illusionen vorhanden sind, kann die Anzahl von mehreren Portalen jedoch nur beschränkt eingesetzt werden.

7. Aufgabenverteilung

Die Aufgabenverteilung konnten wir dank genauer Absprache und der Hilfe externer Tools exakt einplanen und aufteilen. So konnte das Erstellen der in Unity gestalteten Szene mithilfe eines gemeinsamen GitHub-Repositories nahezu gleichzeitig bearbeitet werden. Hierfür wurden wir nach dem Hochladen einer neuen Version der Szene automatisch von GitHub benachrichtigt und konnten uns entsprechend mit der Bearbeitung abwechseln. Die Technische Umsetzung der Illusionen, sowie der Einbindung dieser in der Museums Szenerie wurde von Robert Irrgang konzipiert und umgesetzt. Die Planung, Gestaltung und Umsetzung des Level Designs wurde von Marcel Krakowczyk geplant und umgesetzt.

8. Verwendete Ressourcen und verwendete Quellen

8.1 Ressourcen und Assets

Es handelt sich hierbei um Assets aus dem Unity Asset Store mit dem Lizenztyp "Extension Asset". Weitere Informationen zu den rechtlichen Bedingungen der Nutzung dieser Assets finden sich bei den Unity Asset Store Terms of Service and EULA.

- Japanese Garden Pack by „Waldemarst“
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/japanese-garden-pack-179492>
- Japanese Zen Garden Pack by „Reynard Droste“
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/japanese-zen-garden-pack-69167>
- Floor materials pack v.1 by "VK GameDev"
<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/floors/floor-materials-pack-v-1-140435>
- Dungeon Ground Texture by "Pixel Indie"
<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/floors/dungeon-ground-texture-33296>

- Tile Floor by "Casual2D"
<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/tiles/tile-floor-148896>
- PBR Lion Statue | 3 Variants by "Brandon Tummon"
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/pbr-lion-statue-3-variants-168377>
- Paintings Free by "Webcadabra"
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/interior/paintings-free-44185>
- Oriental Structure Pack – Lite by "Gamemag Creation Studio"
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/oriental-structure-pack-lite-81021>
- Nature Starter Kit 2 by "Shapes"
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/nature-starter-kit-2-52977>
- Masks pack 2 by "Dmitriy Dryzhak"
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/clothing/accessories/masks-pack-2-157577>
- Wooden Floor Materials by "Casual 2D"
<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/wood/wooden-floor-materials-150564>
- Low Poly Chess Pack by "Broken Vector"
<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/low-poly-chess-pack-50405>

8.2 Quellen

- Introduction to Non-Euclidean Geometry by Math & the Art of MC Escher:
https://mathstat.slu.edu/escher/index.php/Introduction_to_Non-Euclidean_Geometry
- Geometrische Kunst by Felix Brönnimann:
<https://www.geometrien.de/geometrische-kunst/>
- Euclidean geometry by Britannica:
<https://www.britannica.com/science/Euclidean-geometry>

- Euclid's puzzling parallel postulate by Jeff Dekofsky:
https://www.youtube.com/watch?v=LPET_HhN0VM
- Non euclidean Worlds Engine by CodeParade:
<https://www.youtube.com/watch?v=kEB11PQ9Eo8>
- Smooth PORTALS in Unity by Brackeys:
<https://www.youtube.com/watch?v=cuQao3hEKfs>