



Assembly Support with HoloLens

Bachelorthesis

Studiengang:

Autor:

Betreuer:

Experten:

Datum:

BSc in Informatik

Cagdas Cakir

Prof. Marcus Hudritsch

Dr. Federico Flueckiger

17. Januar 2019

Management Summary

In Technologieunternehmen werden viele grosse Maschinen benutzt. Die Montage dieser Maschinen mit Hunderten oder Tausenden von Einzelteilen, die in einer bestimmten Reihenfolge und Geometrie zusammengefügt werden müssen, ist nicht einfach und mit grossem Zeitaufwand verbunden. In dieser Arbeit geht es darum, mithilfe der HoloLens-Technologie, welche in der digitalen Welt zunehmend an Bedeutung gewinnt, diese Montagearbeiten zu unterstützen.

HoloLens ist eine Augmented-Reality-Brille, welche von Microsoft als ein holographischer Computer entwickelt wurde. Sie ermöglicht dem Benutzer in seinem Raum, z.B. auf seinem Tisch, 3D-Objekte zu visualisieren.

Meine Arbeit ermöglicht es, dass die von Json-Datei bereitgestellte Montageanleitung eingelesen wird und die darin definierten Montageteile (Massstab 1:1) virtuell angezeigt und ausgeführt werden. Dort wo die virtuelle Montage in der realen Welt erfolgen soll, wird der Marker von HoloLens gescannt und positioniert. Dann werden die Anweisungen mit Sprachbefehlen gesteuert und die Applikation wird ausgeführt.

Das Ziel der Arbeit ist es mit der HoloLens-Brille herauszufinden, wie die Montagearbeiten eines komplexen 3D-Produktes oder einer Maschine visuell unterstützt werden können. Dabei geht es um die Entwicklung von Funktionen, welche die Montagearbeiten schneller und effizienter gestalten.

Das Ergebnis des Projektes ist, dass die HoloLens-Technologie endlose Lösungen im Montagebereich bietet. Mit der entwickelten Applikation können die realen und virtuellen Maschinenteile gleichzeitig angezeigt werden. Durch Animationen wird ersichtlich, wie und wohin die Teile montiert werden müssen. Die Anweisungen dafür werden mit Sprachbefehlen gesteuert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Augmented Reality (AR)	6
2.1	Bedeutung der Augmented Reality	6
3	Mixed Reality (MR)	7
3.1	Mixed-Reality Geräte	8
3.1.1	Google Glass	8
3.1.2	Microsoft HoloLens	8
4	HoloLens	9
4.1	Display	9
4.1.1	Interpupillary Distance (IPD)	10
4.2	Holographic Processing Unit (HPU)	11
4.3	Sensoren	11
4.3.1	Inertial Measurement Unit (IMU)	11
4.4	Audio	11
4.5	Mikrofone	11
4.6	Technische Daten	12
5	Unity	13
5.1	Unity3D-Editor	13
5.2	Vuforia Konfiguration und Verwendung in Unity	14
5.3	Unity HoloLens	17
5.4	Projekt in Unity builden	19
6	Vuforia	20
6.1	Flussdiagramm	21
6.2	Vuforia und HoloLens	22
6.3	Einführung in Vuforia-Webseite	22
6.3.1	Registration	23
6.3.2	Downloads	24
6.3.2.1	Software Development Kit (SDK)	24
6.3.2.2	Samples	25
6.3.2.3	Tools	26
6.3.2.3.1	Vuforia Model Target Generator	27
6.3.2.3.2	Vuforia Vumark Designer	27
6.3.2.3.3	Vuforia Object Scanner	27
6.3.2.3.4	Vuforia Calibration Assistant	30
6.3.3	Develop	30
6.3.3.1	License Manager	30
6.3.3.1.1	Get Development Key - Lizenzschlüssel erstellen	31
6.3.3.2	Target Manager	33
6.3.3.2.1	Datenbank erstellen	33
6.3.3.2.2	Target (Marker) erstellen	34
6.3.3.2.3	Download Database	36
6.3.3.2.4	Funktionen zu den Targets	36
7	Applikation	38
7.1	Reihenklemmen	38
7.1.1	Durchgangsklemme (Terminal)	39
7.1.2	Steckenbrücke (Red Bridge)	39
7.1.3	Leitungsschutzschalter (Relais)	39
7.1.4	Trageschiene TS35 (Rail)	39
7.2	Was ist HoloLens?	40
7.3	Was ist Vuforia?	40
7.4	Im Blender den Objekten gut orientieren	40
7.5	Arbeit mit Unity	41

7.5.1	Json-Datei	41
7.5.2	Prefabs	42
7.5.3	Animationen	42
7.5.3.1	Das nächsteingehende Teil	43
7.5.3.2	Anzeige des nächsteingehenden Teils	43
7.5.3.3	Grüne Pfeile für die Kästchen	43
7.5.4	Vuforia	43
7.5.4.1	AR-Camera	43
7.5.4.2	Image Target	43
7.5.4.2.1	Image Target für das Modell	43
7.5.4.2.2	Image Target für die Kästchen	44
7.5.5	Next Part	44
7.5.6	Sprachbefehle	45
7.6	Fehler und Lösungen	45
7.6.1	Hochladen der Json-Datei in HoloLens	45
7.6.2	Fehler bei den Versionen	46
8	Anwendung der HoloLens-Technologie in Arbeitswelt	47
9	Entwicklungsumgebung	48
9.1	Unity	48
9.2	MixedRealityToolkit-Unity	48
9.3	Vuforia	48
9.4	Visual Studio	48
9.5	Installationsanleitung	49
10	Fazit und Ausblick	51
11	Abbildungsverzeichnis	52
12	Tabellenverzeichnis	54
13	Literaturverzeichnis	55
Erklärung der Diplomandinnen und Diplomanden <i>Déclaration des diplômé-e-s</i>		56

1 Einleitung

In Industriefirmen, Laboratorien, Spitälern usw. werden viele Maschinen benutzt. Die Montage und Wartung dieser Maschinen sind nicht immer einfach und mit grossem Zeitaufwand verbunden. Stellen Sie sich eine Baugruppe einer hochgradig massgeschneiderten und komplexen Maschine vor, die aus Hunderten oder Tausenden von Einzelteilen besteht, die in einer bestimmten Reihenfolge und Geometrie zusammengefügt werden müssen. In der industriellen Produktion trifft dies natürlich vor allem auf Kleinserien zu, für die sich eine halb- oder vollautomatische Produktionslinie nicht lohnt. Diese Kleinserien sind wichtiges Marktsegment für viele KMU in der Schweiz, die sich auf kundenspezifische Fertigung im Maschinenbau spezialisiert haben. Die Anleitungen für die Montage sind meistens kompliziert beschrieben. Sie müssen zuerst schrittweise durchgearbeitet werden, um richtige Informationen zu finden, was sehr zeitraubend ist.

„Shape the future of productivity with tools that enable a new dimension of work“¹. Mit dieser Aussage möchte ich auf die zunehmende Bedeutung von HoloLens sowie Augmented Reality in unserer digitalen Welt aufmerksam machen. Dank diesem Tool können viele Arbeitsprozesse vereinfacht werden. In meiner Bachelorarbeit geht es einerseits darum die Theorie von HoloLens besser zu verstehen und andererseits das Potenzial im Montagebereich zu erforschen. Was sind die Vorteile der Augmented Reality in der industriellen Welt? Kann eine komplexe Montage unter Verwendung von HoloLens vereinfacht werden? Gibt es in der Praxis schon Anwendungsbeispiele? Wie sieht die Zukunft von HoloLens und Augmented Reality aus? Dies sind einige Fragestellungen, die ich mit dieser Arbeit beantworten möchte. Das Ziel der Arbeit ist es dabei auszutesten, wie die Montage eines komplexen 3D-Produktes oder einer Maschine visuell unterstützt werden kann.

Die Arbeit kann auf GitHub gefunden werden:

https://github.com/cakic1/BachelorArbeit_AssemblySupportwithHololens.git

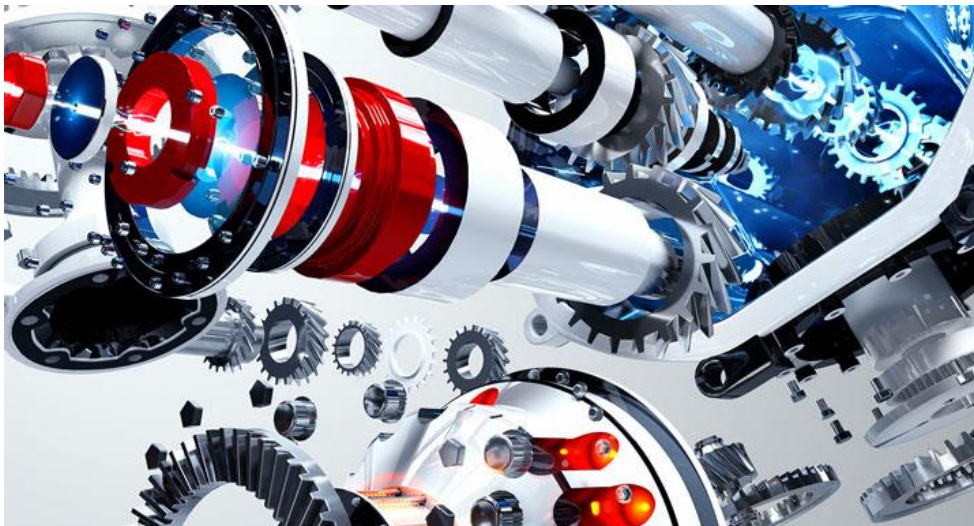


Abbildung 1 Maschinenmontage²

¹ <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>, 27.05.2018

² <https://www.ferchau.com/de/de/kompetenzen/maschinenbau/> 14.01.2019

2 Augmented Reality (AR)

2.1 Bedeutung der Augmented Reality

Es gibt einige Technologien, die weder schriftlich noch mündlich einfach erklärt werden können, wie z.B. die Technologie „Augmented Reality“. Augmented Reality (AR) bedeutet im Wesentlichen, dass virtuelle Objekte dem realen Bild überlagert werden. Augmented Reality wird sichergestellt, indem in einer Umgebung durch eine AR-Brille oder eine Kamera, z.B. eines Smartphones, ein Marker erkannt wird und dadurch vordefinierte Objekte wahrgenommen werden können. Augmented Reality ist also eine 3D-Technologie, die physische und digitale Welt in Echtzeit kombiniert.

Damit von dieser Technologie profitiert werden kann, müssen einige Bedingungen erfüllt werden:

- Internetzugriff (zumindest der HoloLens von Microsoft)
- Benutzung der Geräte, die Augmented Reality erkennen (z.B. AR-Brillen, Smartphones oder Tablets)
- Auf dem Gerät müssen Anwendungen installiert sein, welche unter AR definiert sind

Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, kann der für Augmented Reality entwickelte Marker mit der Anwendung auf dem Gerät eingelesen werden. Das Gerät erkennt somit den Marker und es erscheint eine neue Abbildung. [1]

Die Gründung der Augmented Reality Praxis basierte auf die Zusammenarbeit von Ivan Sutherland der Harvard University und seinem Studenten der Utah University im Jahr 1960. Die Augmented Reality-Technologie wurde durch Inspiration aus der Militärtechnologie entwickelt. Das Ergebnis dieser Technologie ist die HUD-Technologie (Head Up Display), die normalerweise in Flugzeugen verwendet wird. Die HUD-Technologie dient dazu, dass den Menschen alle wichtigen Informationen direkt auf einem transparenten Display geführt werden, ohne dass sie anderswo schauen müssen. Augmented Reality gibt das Gefühl einer virtuellen Realität, als ob die digital erzeugten Bilder auf der realen Welt wären. Neueste Entwicklungen haben diese Technologie über ein Smartphone zugänglich gemacht. [2]

Der entscheidende Punkt bei AR und auch bei Virtual Reality (VR) ist, dass die Software herausfinden muss wie das Gerät, welches die 2D-Grafik augmentiert, im Raum liegt. Es muss die Pose (Position und Orientierung) herausfinden. Mobilgeräte mit Video machen das über das Videobild mit Features. Die HoloLens macht dies mit einem Infrarotscanner.

3 Mixed Reality (MR)

Mixed Reality ist ein Begriff von Microsoft und bezeichnet die Interaktion von virtueller und erweiterter Realität mit der physischen Realität. Gemäss dieser Beschreibung kann Mixed Reality als Top-Definition betrachtet werden. In Mixed-Reality-Situationen kann der Benutzer virtuelle Objekte miteinander verbinden und mit ihnen interagieren. Die gemischte Realität ist also die nächste Evolution bei Interaktion von Menschen mit Computer und Umwelt.

Mixed Reality lässt die virtuelle 3D-Objekte für den Benutzer real aussehen, indem er sie stereoskopisch in seine natürliche Umgebung einblendet und ermöglicht so die Interaktion zwischen diesen beiden Umgebungen. Dies wird als Immersion bezeichnet. Immersion ist also ein Prozess, der es der Person ermöglicht, sich in der realen Welt mit realistischen Bildern zu fühlen, obwohl sie sich in einer virtuellen Umgebung befindet. [3]

Mixed Reality bringt neue Möglichkeiten mit, die bisher nur auf unsere Vorstellungen beschränkt waren. Dies wird durch Fortschritte in den Bereichen Computer Vision, grafische Verarbeitungsleistung, Display-Technologie und Eingabesysteme ermöglicht. In diesen gemischten Bereichen können Benutzer mit virtuellen Objekten realistische Erfahrungen machen. Da die gemischte Realität die Verschmelzung von physischer und digitaler Welt ist, definieren diese beiden Wirklichkeiten die polaren Enden eines Spektrums, das als Virtualitätskontinuum bekannt ist. Dies wird als Mixed-Reality-Spektrum bezeichnet. Auf der linken Seite haben wir eine physische Realität, in der wir Menschen existieren und auf der rechten Seite ist die entsprechende digitale Realität. Die Erfahrungen, die Grafiken auf Video-Streams der physischen Welt überlagern, sind Augmented Reality und die Erfahrungen, die ihre Sicht auf die Präsentation einer digitalen Erfahrung verdecken, sind virtuelle Realität. Somit sind die Erfahrungen, die zwischen diesen beiden Extremen möglich sind, die gemischte Realität. [4]

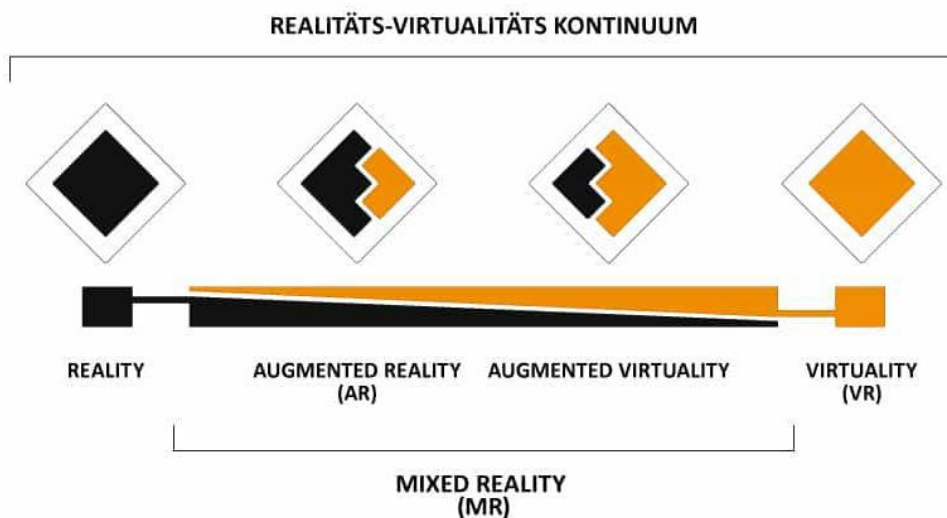


Abbildung 2 Realitäts-Virtualitäts Kontinuum

3.1 Mixed-Reality Geräte

3.1.1 Google Glass

Die Google Glass ist eine Google-Brille, die 2012 von Sergey Brin präsentiert wurde. Sie ist ein tragbarer Computer mit einem optischen Bildschirm. In der Ecke der Brille befindet sich eine Kamera, die sofort alles auffasst, was der Benutzer sieht und mit Sprachbefehlen steuert. Die Brille führt ebenfalls Navigationsaufgaben für den Benutzer aus. Was der Benutzer sieht, verwandelt sich buchstäblich in die von der Brille verwendeten Daten. Ausserdem hilft Google Glass auch unbekannte Objekte zu identifizieren. [5]

Die Google Glass kann sich jedoch nicht präzise im Raum lokalisieren. Die Positionsbestimmung geht nur mit der GPS-Lokalisierung des verbundenen Android-Mobilgerätes. Diese Präzision reicht nicht aus für präzises räumliches Augmentieren.



Abbildung 3 Google Glass

Google Glass hat folgende technische Spezifikationen [6]:

- Android 4.0.4 Betriebssystem
- 16 GB Speicherkapazität
- 1 GB RAM
- 1.2 GHz DualCore ARM Cortex-A9 oder OMAP 4430 Prozessoren
- 5MP Kamera mit 720p Bildqualität
- WIFI, GPS, Bluetooth

3.1.2 Microsoft HoloLens

HoloLens ist ein von Microsoft entwickelter holographischer Computer – der erste transparente Computer, der bedienungsfrei betrieben werden kann. Der Benutzer lebt und erlebt die virtuelle Umgebung, ohne die reale Umgebung zu verlassen. Microsoft HoloLens wird im Kapitel 4 **HoloLens** ausführlicher beschrieben.



Abbildung 4 HoloLens-Brille

4 HoloLens

HoloLens ist der erste, transparente, holografische Computer, der von Microsoft entwickelt wurde. Er zielt darauf ab, dem Leben eine neue Dimension zu geben, indem es dem Benutzer eine erhöhte virtuelle Realität bietet. Er stellt Hologramme hoher Auflösung zur Verfügung und integriert somit das virtuelle Objekt in die reale Welt (Mixed Reality). Hologramme ermöglichen sichere Entscheidungen zu treffen, effektiver zu arbeiten und die Ideen zu visualisieren. [7]



Abbildung 5 Microsoft HoloLens

Damit HoloLens auf dem Kopf richtig und bequem sitzt, ist das Stirnband gepolstert und kann je nach Kopfgröße verstellt werden. Das Gewicht verteilt sich um den Kopf und schützt die Ohren sowie die Nase vor übermäßigem Druck.



Abbildung 6 HoloLens mit Zubehör

Im Vergleich zu Virtual-Reality-Brillen (VR-Brillen) funktioniert das System bei der HoloLens-Serie anders. Denn diese Head-Sets bieten den Benutzern nicht nur Virtual-Reality-Technologie an, sondern auch Augmented Reality. Das System der HoloLens funktioniert wie folgt: Die HoloLens-Brille hat an den Seiten je eine Doppelkamera. Nach dem der Benutzer die Brille auf den Kopf setzt, scannen diese Kameras die Umgebung. Im Hologramm-Prozessorabschnitt der Brille werden die gescannten Bilder verarbeitet. Die direkt von der Brille erzeugten Hologramme werden dann automatisch in die Umgebung integriert und so sieht der Benutzer die virtuellen Bilder in der realen Welt (Augmented Reality). [7]

4.1 Display

Im Gegensatz zu VR-Brillen sieht der Benutzer mit HoloLens die reale Welt durch spezielle Brillengläser des Geräts und die Bilder (Hologramme) werden bis zu mehreren Metern vor ihm projiziert. Wichtig sind hierbei, die waveguides der Displays. Als Beispiel für waveguides können Glasfasern genannt werden. Die beiden Displays von HoloLens bestehen aus **Liquid Crystal on silicon** (LQoD-Displays). HoloLens hat zwei HD 16:9 Light Engines, welche die Bilder projizieren. Diese Bilder werden dann durch die waveguides mit der realen Welt verbunden.

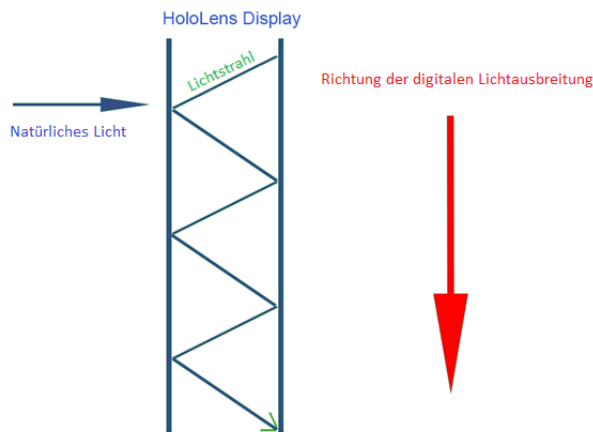


Abbildung 7 HoloLens-Display-Diagramm

Die beiden HoloLens-Augenbildschirme sind im Wesentlichen flache optische Fasern oder planare waveguides. Eine Art Bildquelle an einem Ende dieser Bildschirme sendet RGB-Daten entlang der Länge der transparenten Displays aus. Dieses Licht prallt um die innere Vorder- und Rückseite eines jeden Displays herum und durchquert auf diese Weise seine Länge. Diese Lichtstrahlen werden schliesslich aus den Displays extrahiert und gelangen zu den Pupillen.³

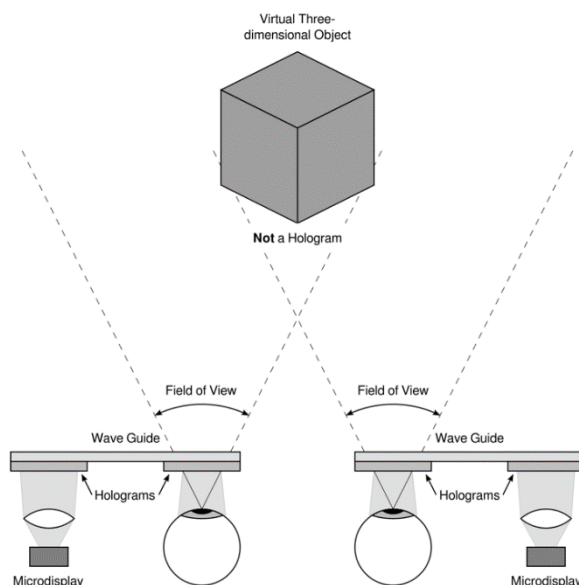


Abbildung 8: Die von HoloLens angezeigten virtuellen 3D-Objekte sind keine Hologramme (sie sehen nur wie Hologramme aus!). Die Linsen bzw. der Umlenkung in diesen wird mit Hologrammen gemacht⁴.

4.1.1 Interpupillary Distance (IPD)

In VR und in AR ist die Distanz zwischen den Pupillen ein wichtiger Faktor. Da diese bei jedem Benutzer unterschiedlich ist, muss der Benutzer während dem Setup seine visuellen Daten kalibrieren. Somit kann das Gerät das Display gemäss der Pupillendistanz des Benutzers horizontal sowie vertikal anpassen. [8]

³ <http://www.imaginativeuniversal.com/blog/2015/10/18/how-hololens-displays-work/>, 03.01.2019 (Übers. des Verfassers)

⁴ <http://doc-ok.org/?p=1329>, 14.01.2019

4.2 Holographic Processing Unit (HPU)

Holographic Processing Unit ist der Name von Microsoft für den Coprozessor in seinem Virtual-Reality-Headset von HoloLens. HPU wurde von Microsoft entwickelt, da bei normalen Computern CPU und GPU die Anforderungen der HoloLens an Rechenleistung nicht erfüllen.

Die HPU führt die Verarbeitung aus, die die reale Welt und Daten für die erweiterte Realität (AR) integriert. Die gesamte Integration von Umgebungsdaten und Benutzereingaben wird von der HPU verarbeitet. Die HPU empfängt Informationen von der Inertial Measurement Unit (IMU) und kombiniert diese mit Head-Tracking-Kameras. Dies ermöglicht die visuelle Perspektive des Benutzers zu erweitern.⁵

4.3 Sensoren



Abbildung 9 Sensoren der HoloLens⁶

Die Sensorleiste der HoloLens umfasst sieben Kameras - vier „environment understanding cameras“, eine Tiefenkamera, ein Umgebungslichtsensor und eine 2MP Foto-/HD-Videokamera. Einige davon sind Standardteile während andere von Microsoft gebaut wurden.

Die „environment understanding cameras“ stellen die Basis für das Head-Tracking dar. Die Tiefenkamera erfüllt zwei Funktionen: Sie hilft bei der Handverfolgung und führt auch eine Oberflächenrekonstruktion durch, die für die Platzierung von Hologrammen an physischen Objekten von entscheidender Bedeutung ist. Diese Sensoren arbeiten mit dem Optikmodul und der Inertial Measurement Unit (siehe Kapitel 4.3.1 Inertial Measurement Unit (IMU)) zusammen, die auf den holographischen Linsen direkt über dem Nasenrücken angebracht ist.⁷

4.3.1 Inertial Measurement Unit (IMU)

Inertial Measurement Unit ist eine elektronische Einheit, die die Daten der Winkelgeschwindigkeit und der linearen Beschleunigung, welche an den Hauptprozessor gesendet werden, in einem einzigen Modul sammelt. Die Aufgabe der IMU ist es, die Geschwindigkeit, den Drehwinkel und die Drehgröße des Geräts zu bestimmen und zu koordinieren.

4.4 Audio

Der räumliche Klang der HoloLens funktioniert über zwei Lautsprecher. Wenn das Headset getragen wird, befinden sich diese direkt über den Ohren. Dies ist vorteilhaft z.B. bei Spielen. Die Gamer erhalten das Gefühl, als ob die Feinde hinter einem stehen [9].

4.5 Mikrofone

Die HoloLens besteht aus vier Mikrofonen, welche die Sprachbefehle übertragen [9].

⁵ <https://whatistechtarget.com/definition/holographic-processing-unit-HPU/>, 21.10.2018 (Übers. des Verfassers)

⁶ <https://www.thefotosgratis.eu/understanding-standby-power-origin-energy.html>, 14.01.2019

⁷ <https://www.tomshardware.com/news/microsoft-hololens-components-hpu-28nm,32546.html>, 15.11.2018 (Übers. des Verfassers)

4.6 Technische Daten

In der folgenden Tabelle werden die technischen Daten⁸ von HoloLens aufgeführt:

Eigenschaft	Spezifikation
Betriebssystem	Windows 10.0.11802.1033 32-Bit
CPU	Intel Atom x5-Z8100 (1.04 GHz) Intel Airmont (14nm) 4 Logical Processors 64-bit capable
GPU/HPU	Custom-built Microsoft Holographic Processing Unit (HPU 1.0)
GPU (Hersteller)	8086h (Intel)
Dedizierter Video Speicher	114 MB
Shared Memory (Grafik)	980 MB
RAM	2GB
Speicher	64GB (54.09 GB available)
Speicherlimit (Apps)	900 MB
Display	2 HD 16:9 light engines
Optics	See-through holographic lenses (waveguides)
IPD	Automatic pupillary distance calibration
Holographic Resolution	2.3M total light points
Holographic Density	>2.5k radiants (light points per radian)
Field of View	30°H and 17.5°V
Auflösung Kamera (Foto)	2.4 MP (2048 x 1152)
Auflösung Kamera (Video)	1.1 MP (1408 x 792)
Kamera (Bilder pro Sekunde)	30 FPS
Tracking	6 degrees of freedom
Rotational tracking	Gyroscope, Magnetometer, Accelerometer
Positional tracking	depth camera, 4 greyscale environment understanding cameras
Akkuleistung	16,500 mWh 2-3 Stunden aktiver Einsatz, Bis zu 2 Wochen Standby-Zeit
WI-FI	Broadcom 802.11ac Wireless PCIE Full Dongle Adapter
BLUETOOTH	Bluetooth 4.1 Low Energy (LE)
Weight	579g
Buttons	Brightness, volume, power

Tabelle 1 Technische Daten der HoloLens

⁸ https://xinreality.com/wiki/Microsoft_HoloLens, 15.12.2018
<https://windowsunited.de/microsoft-hololens-das-sind-die-technischen-daten/>, 15.12.2018
<https://www.teknoblog.com/microsoft-hololens-donanim-ozellikleri/>, 29.03.2018

5 Unity

Unity3D, eine Cross-Plattform, die von der Unity Technologies entwickelt wurde, ist ein Game Engine. Sie wird hauptsächlich für die Entwicklung von Videospielen und Simulationen für Computer, Konsolen und mobile Geräte verwendet. [10]



Abbildung 10 Logo Unity

5.1 Unity3D-Editor

Die Panels des Editors können nach Wunsch angepasst werden. Im Folgenden werden diese Panels kurz beschrieben:

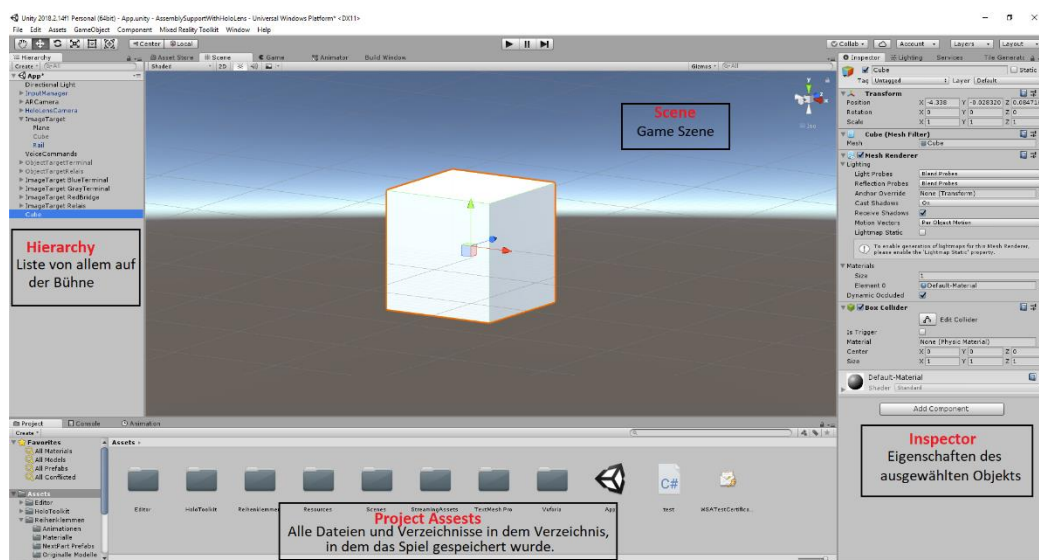


Abbildung 11 Unity Editor Panels

- **Hierarchy:** Auf diesem Panel sind alle Objekte der Spielszene vorhanden. Wenn ein neues Spielprojekt erstellt wird, wird auf diesem Panel das Objekt **Main Camera** angezeigt. Falls der Szene Objekte wie **Cube**, **Sphere**, **Cylinder**, **Spotlight** hinzugefügt werden, werden diese im Panel aufgelistet. Durch Drop and Down der im Panel aufgelisteten Objekte in ein anderes Objekt, können Verknüpfungen und somit eine parent/child-Struktur erstellt werden.
- **Scene:** Die Spielszene wird in diesem Bereich angezeigt, modelliert sowie gestaltet. Durch Doppelklick auf irgendein Objekt im Hierarchy-Panel wird es auf die Scene hinzugefügt.
- **Project Assets:** Alles, was im Spiel verwendet werden kann (Textur, 3D-Modell, Skript usw.), wird in diesem Bereich aufgeführt. Die in diesem Bereich enthaltenen Dateien entsprechen exakt dem Verzeichnis im Spielprojekt. Wenn ein neues Verzeichnis oder eine neue Datei im Projektverzeichnis des Spiels erstellt wird, wird dies gleichzeitig im Panel Project Assets angezeigt.
- **Inspector:** In diesem Bereich können die Eigenschaften von Objekten wie Position, Grösse, Farbe, Textur usw. angezeigt und geändert werden.

5.2 Vuforia Konfiguration und Verwendung in Unity

Um Vuforia in den alten Versionen von Unity3D verwenden zu können, musste die Unitypackage von Vuforia für Unity3D heruntergeladen und das Paket in Unity Editor importiert werden. Beispielsweise in Unity (Version 5.6.1f1) sollte das Unitypackage der Version 6.2.10 von Vuforia verwendet werden.

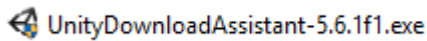


Abbildung 12 UnityDownloadAssistan Version 5.6.1f1

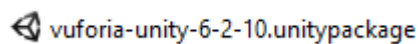


Abbildung 13 Vuforia Unitypackage Version 6.2.10

Ab Vuforia-Version 2017 ist es jedoch viel einfacher, Vuforia in Unity hinzuzufügen. Während der Unity-Installation wird bei der Auswahl der Komponenten ein Fenster geöffnet. In diesem Fenster können die Komponenten ausgewählt werden, welche im Unity-Projekt benutzt werden sollen. Vuforia ist neu in dieser Komponentenliste verfügbar.

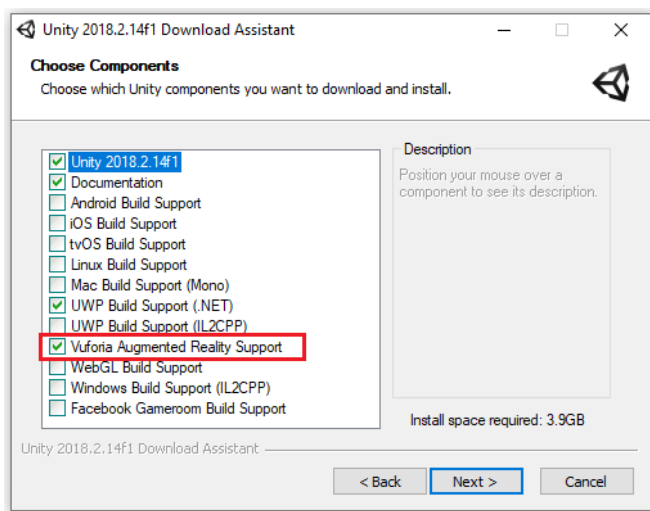


Abbildung 14 Komponentenauswahl Vuforia

Nach Abschluss der Unity-Installation sind in Unity die Vuforia-Komponenten noch nicht verfügbar, obwohl *Vuforia Augmented Reality Support* ausgewählt wurde. Wenn z.B. ein neues Projekt in Unity geöffnet wird, erscheint die Main Camera automatisch. Für AR-Projekte ist jedoch eine AR-Kamera erforderlich, die von Vuforia unterstützt wird. Wenn im neuen Projekt noch keine AR-Kamera ausgewählt ist, wird diese in Vuforia ausgewählt.

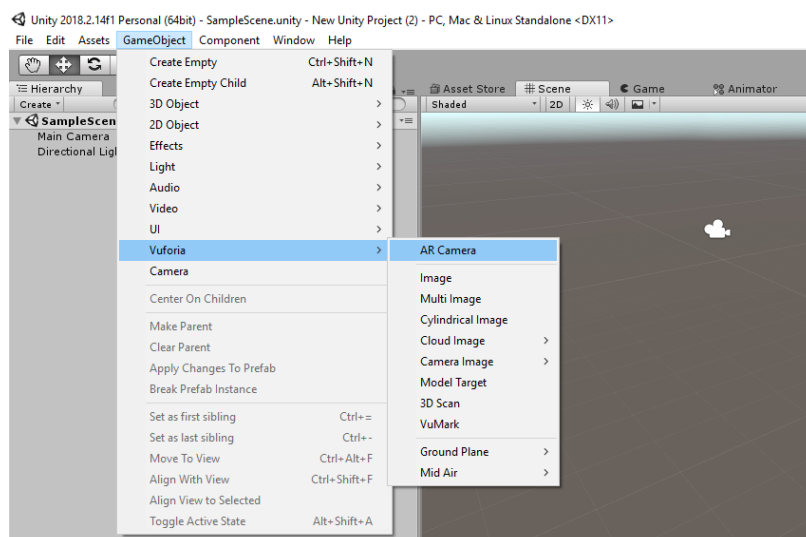


Abbildung 15 Auswahl AR-Camera in Vuforia

Wenn die AR-Kamera zum ersten Mal angewendet wird, wird dieses Objekt aus den Vuforia-Komponenten importiert. Somit werden für die nicht benutzten Objekte nicht unnötig Speicherplatz verwendet. Dies gilt nicht nur für die AR-Camera, sondern für alle Vuforia-Komponenten.

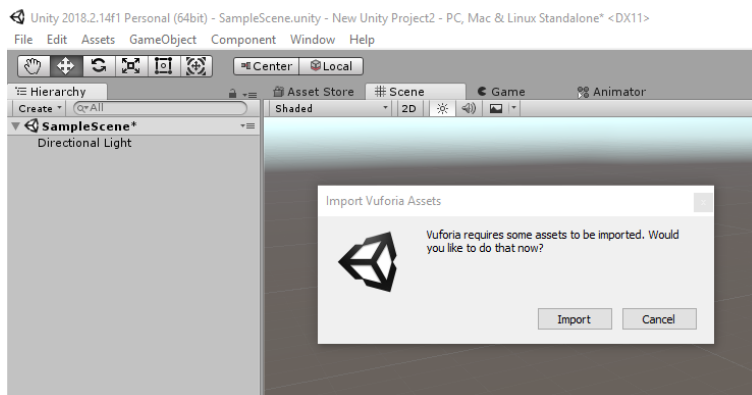


Abbildung 16 Import Vuforia-Komponente für AR-Camera

Nach dem Import der gewünschten Vuforia-Komponenten wird das Projekt von Vuforia Augmented Reality immer noch nicht unterstützt.

Hierfür muss unter *Edit > Project Settings* die Einstellung *Player* ausgewählt werden.

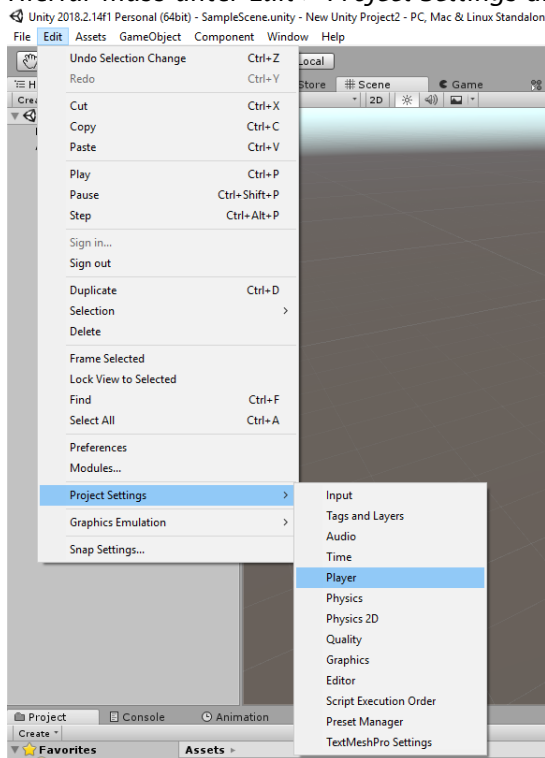


Abbildung 17 Auswahl Einstellung Player

Im Panel Inspector wird die *Player Setting* geöffnet. Unter *XR Settings* muss dann das *Vuforia Augmented Reality Supported* ausgewählt werden.

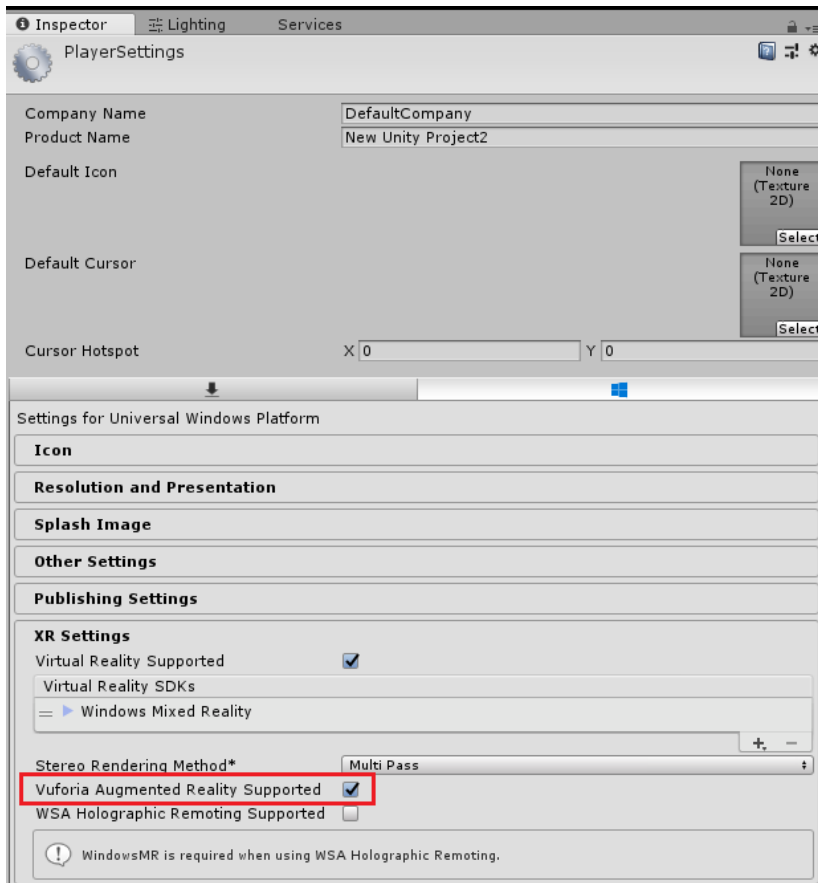


Abbildung 18 Auswahl *Vuforia Augmented Reality Supported*

Nach Abschluss all dieser Vorgänge sollte Vuforia „sicher“ gemacht werden. Deshalb wird der Vuforia Licence Key (wird im Kapitel 6.3.3.1 License Manager beschrieben) in Unity in *Windows>Vuforia Configuration* kopiert.

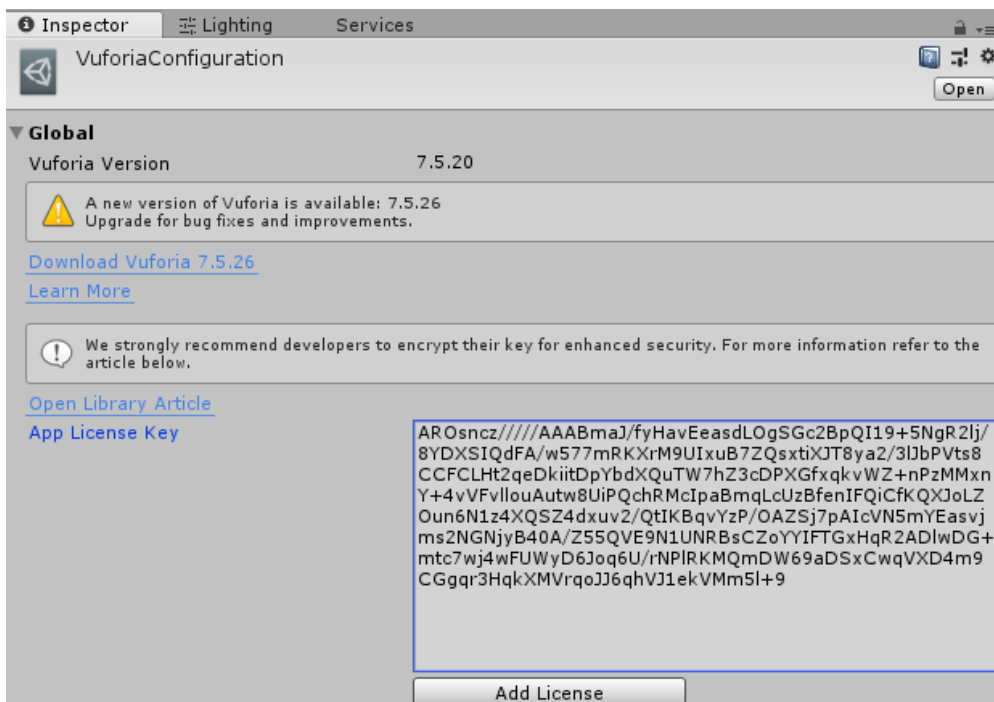


Abbildung 19 Kopieren Lizenzschlüssel in Unity

5.3 Unity HoloLens

Das HoloToolkit, auch Mixed Reality Tool Kit genannt, ist ein kostenloses Unitypackage. Es erleichtert die Projekte, welche mit Microsoft HoloLens in Unity entwickelt werden. Mit diesem Paket soll die Entwicklung holographischer Anwendungen für Windows Holographic effizienter durchgeführt werden.

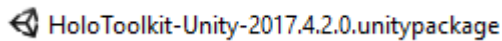


Abbildung 20 HoloToolkit

Nach dem dieses Paket in Unity importiert wird, sieht die Toolbar wie folgt aus:

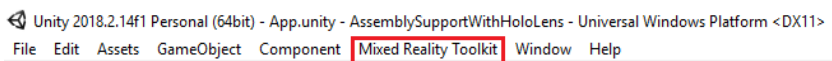


Abbildung 21 Toolbar

Über *Mixed Reality Toolkit* > *Configure* müssen je nach Projekt Konfigurationen vorgenommen werden.

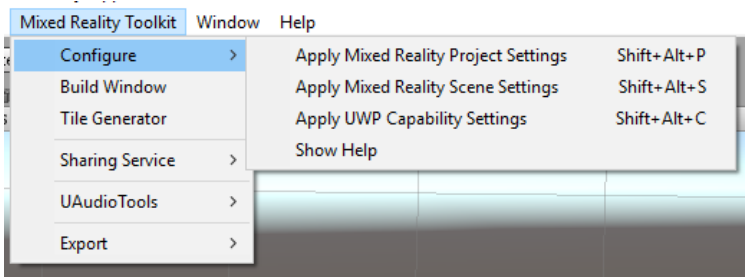


Abbildung 22 Auswahl Konfigurationen

Folgende Einstellungen müssen gewählt werden:

- Mixed Reality Project Settings

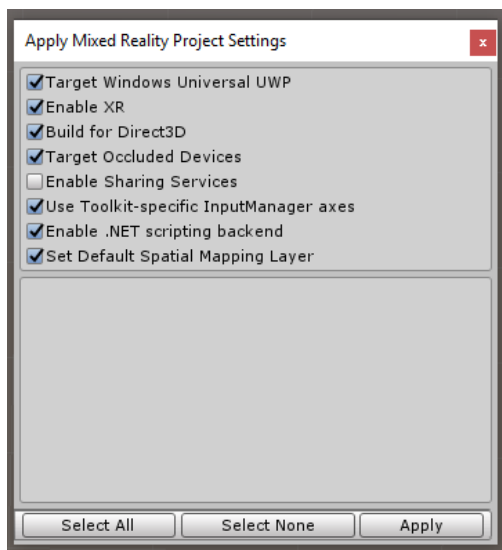


Abbildung 23 Mixed Reality Project Settings

- Mixed Reality Scene Settings

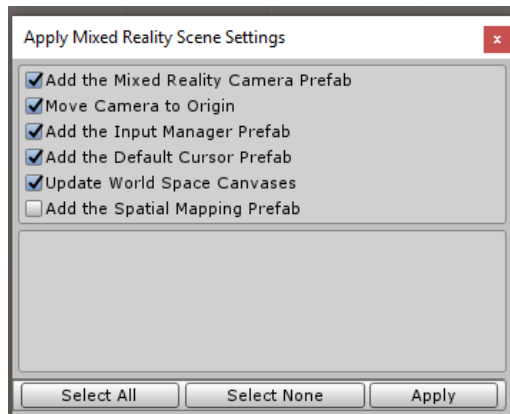


Abbildung 24 Mixed Reality Scene Settings

- UWP (Universal Windows Project) Capability Settings

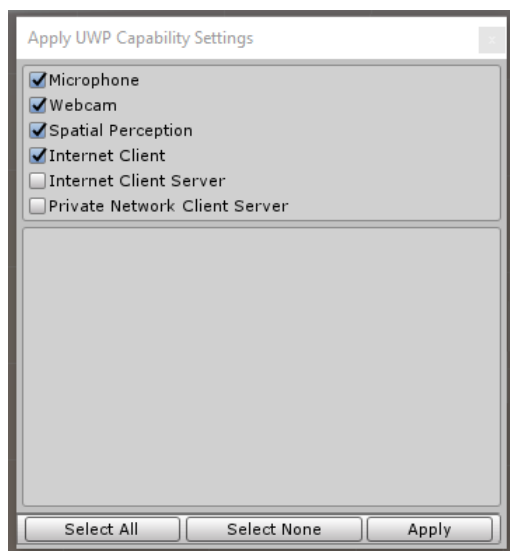


Abbildung 25 UWP (Universal Windows Project) Capability Settings

5.4 Projekt in Unity builden

Unter *File>Build Settings* besteht die Möglichkeit die Zielplattform auszuwählen, die Einstellungen für den Build anzupassen und den Build-Prozess zu starten.

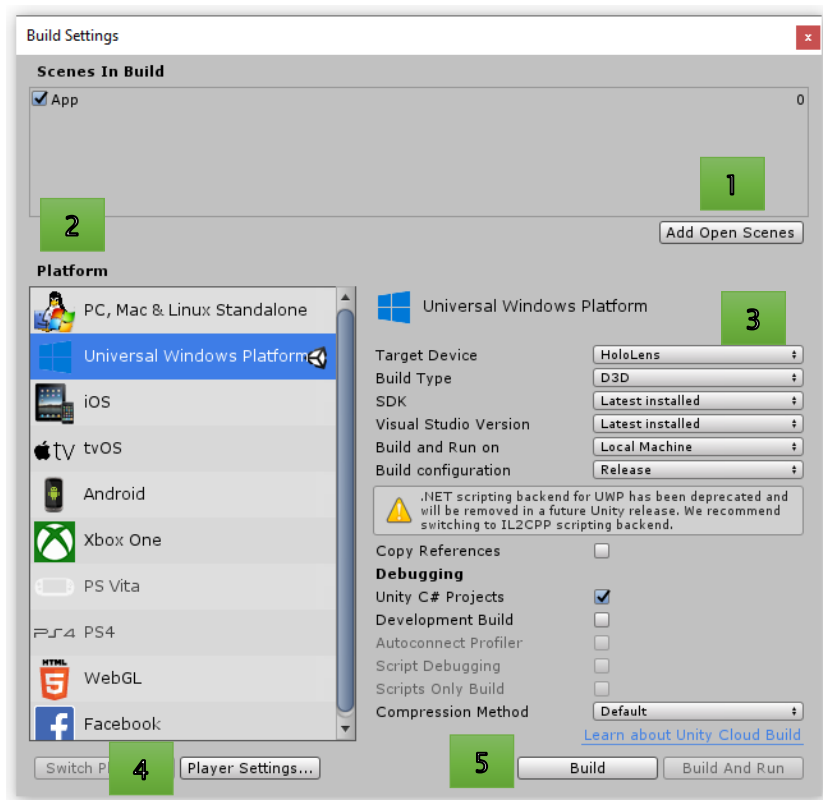


Abbildung 26 Build Settings

Folgende Konfigurationen müssen dabei vorgenommen werden:

1	Mit dem Button <i>Add Open Scenes</i> die gewünschte Scene auswählen.
2	Zielplattform auswählen.
3	Auf der rechten Seite die Einstellungen für ausgewählte Zielplattform wählen.
4	Mit dem Button <i>Player Settings</i> die Benutzereinstellungen festlegen. (Fakultativ, wenn die Player Settings nicht eingestellt wurde).
5	Auf den Button <i>Build</i> klicken.
6	Windows Explorer erscheint. Einen Ordner auswählen oder neu erstellen.
7	Build wird automatisch ausgeführt.

6 Vuforia

Vuforia ist ein Software Development Kit (SDK) für mobile Umgebungen, eine Anwendungsentwicklungsplattform für Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR).



Abbildung 27 Logo vuforia

Dieses SDK stellt auch Codes bereit, welche mehrere Zielbilder in Echtzeit und 3D-Objekte gleichzeitig erkennt und überwacht. Vuforia ermöglicht das Positionieren und Manipulieren von realen Objekten in Bezug auf die 3D-Bilder der realen Welt. Die Plattform verfügt über fortschrittliche Technologien zum Scannen von physischen oder komplexen Objekten. Darüber hinaus verfügt Vuforia über eine Smart-Terrain-Anwendung, mit der alle realen Umgebungen als 3D-Netz rekonstruiert werden können. [11, 12]



Abbildung 28 AR Anwendung mit dem Handy



Abbildung 29 AR Anwendung mit dem Tablet

Das Vuforia-SDK unterstützt folgende Targets [13]:

- 2D- und 3D-Zieltypen (inkl. „markerloser“ Bildziele)
- 3D-Multiziel-Konfigurationen
- Referenzmarken (VuMark)

Weitere Funktionen des SDK sind wie folgt:

- Lokalisierte Okklusionserkennung mit Hilfe von „virtuellen Schaltflächen“
- Auswahl von Laufzeitabbildern
- Möglichkeit Zielsätze programmatisch zur Laufzeit zu erstellen und zu rekonfigurieren

6.1 Flussdiagramm

Im Folgenden ist das Flussdiagramm des Vuforia-SDK's abgebildet:

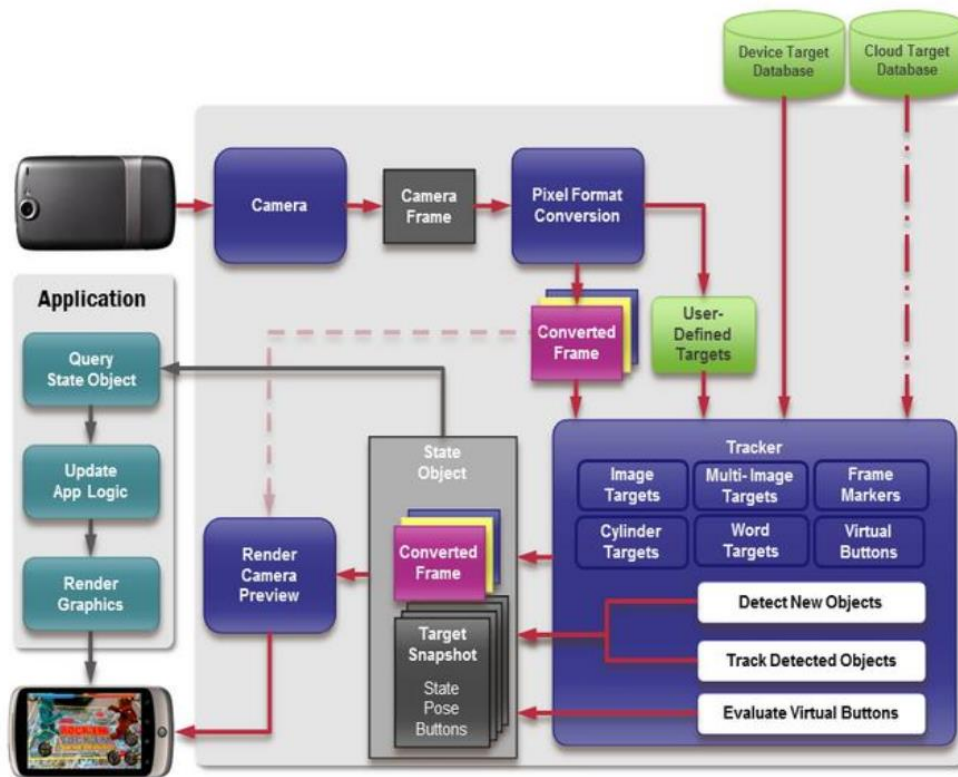


Abbildung 30 Flussdiagramm des Vuforia SDK's

„Die Hauptkomponente stellt der Tracker dar. Er enthält die Erkennungsalgorithmen, welche die Marker aus dem Live-Videostream detektieren. Dieser bezieht seine Informationen von den vorher definierten Markern über die integrierte oder die Cloud-Datenbank. Diese können aus Image-Targets, Multi-Image-Targets, Frame-Markern, Cylinder-Targets, Word-Targets oder Virtual Buttons bestehen. Gleichzeitig bekommt der Tracker Daten aus dem Videostream geliefert, welche zusammen mit den detektierten Marker-Objekten zu einem momentanen State-Objekt zusammengefügt werden. Im State-Objekt befinden sich nun Informationen zur Lage und Position des Objektes sowie das konvertierte Videobild. Auf das Objekt kann vom Programmierer der App über die Entwicklungsumgebung zugegriffen werden. Dann wird der momentane Status gerendert und auf dem Display des mobilen Endgerätes angezeigt.“⁹

⁹ http://raphael-wagner.de/openData/Bachelorarbeit_Wagner.pdf, S. 34, 15.12.2018
Assembly Support with HoloLens; Version 1.0; 17.01.2019

6.2 Vuforia und HoloLens

Mit Hilfe von Vuforia erhält HoloLens die Fähigkeit AR-Erlebnisse mit bestimmten Bildern und Objekten in der Umgebung zu verbinden. Diese Funktion kann verwendet werden, um schrittweise Anweisungen auf Maschinen zu überlagern oder digitale Features zu einem physischen Produkt hinzuzufügen.



Abbildung 31 Überlagerung der virtuellen Teile auf Maschine

Bestehende Vuforia-Applikationen, die für Smartphones und Tablets entwickelt wurden, können in Unity konfiguriert werden, um auf HoloLens zu laufen. Vuforias Unterstützung für HoloLens wird in Version 7.5 der Vuforia Unity-Erweiterung implementiert.

Der beste Ausgangspunkt, um die Struktur und Organisation eines Vuforia HoloLens-Projekts in Unity zu verstehen, ist die Unity HoloLens-Stichprobe. Diese Stichprobe stellt ein komplettes HoloLens-Projekt bereit, welches die Vuforia Unity-Erweiterung für Windows 10 sowie eine vorkonfigurierte Szene enthält, die auf HoloLens eingesetzt werden kann. Die Szene implementiert eine Vuforia-HoloLens-Kamerabindeung sowie die Build-Einstellungen, die für die Bereitstellung einer HoloLens-App erforderlich sind. Es zeigt wie Bildziele und das erweiterte Tracking verwendet werden, um ein Bild zu erkennen und es mit digitalen Inhalten in einer HoloLens-Umgebung zu erweitern.

Die Entwicklung einer Vuforia-Applikation für HoloLens ist grundsätzlich die gleiche wie die Entwicklung von Vuforia Applikationen für andere Geräte. Es muss dabei nur eine Verbindung zwischen der Vuforia AR-Camera und der HoloLens-Szenenkamera hergestellt und eine erweiterte Verfolgung der Ziele aktiviert werden. [14]

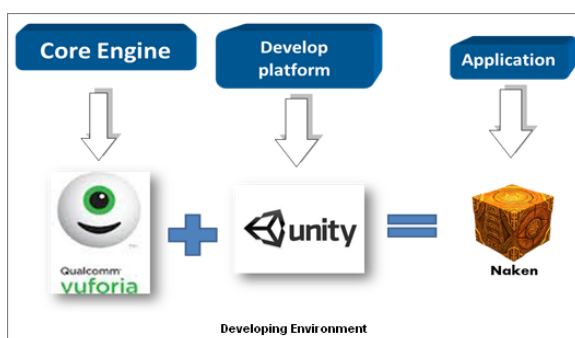


Abbildung 32 Entwicklungsumgebung (Vuforia und Unity)

6.3 Einführung in Vuforia-Webseite

Auf der Webseite von Vuforia (www.vuforia.com) können Bilder sowie 3D-Objekte hochgeladen werden. Mit diesen werden dann Bibliotheken erstellt, welche in Unity kostenlos heruntergeladen werden. Ebenfalls können Datenbanken erstellt werden. Diese sowie der Lizenzschlüssel, welche von der Vuforia-Webseite abgerufen wird, werden in Unity integriert. Somit können die in Unity erstellten 3D-Objekte auf die Bilder, welche sich in den Datenbanken befinden, überlagert werden.

6.3.1 Registration

1. Mit dem folgenden Link wird das Vuforia Developer Portal geöffnet:
<https://developer.vuforia.com/>

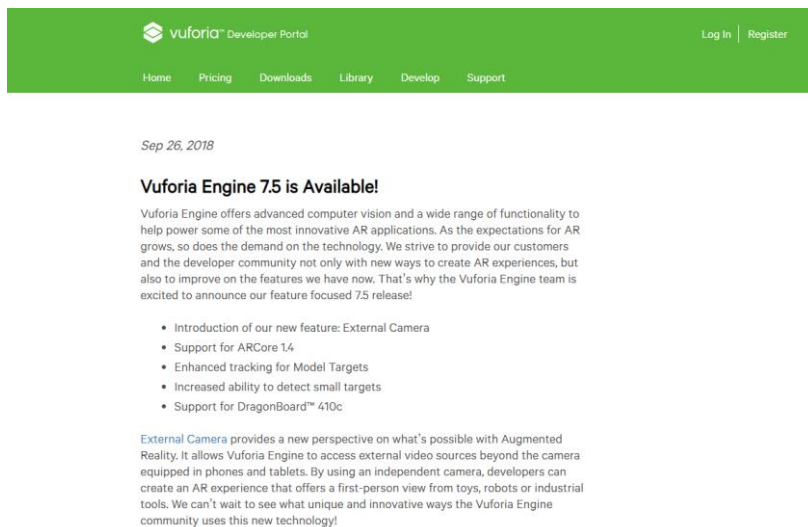


Abbildung 33 Vuforia Development Portal

2. Durch Klick auf Register gelangt der User auf die Registerseite und kann seine Daten eingeben:

The screenshot shows the registration page of the Vuforia Developer Portal. It has the same green navigation bar as the homepage. Below the navigation bar is a dark grey section with the heading 'Register for a Vuforia Developer Account' and a subheading 'With an account you can download development tools, get license keys, and participate in the Vuforia community.' Below this is a registration form with several input fields: 'First Name *', 'Last Name *', 'Company *', 'Select Country of Residence *' (a dropdown menu), 'Email Address *' (with a help icon), 'Username *' (with a help icon), 'Password *', and 'Confirm Password *'. Below these fields is a CAPTCHA image showing the letters 'WR3XU' and a 'Captcha Code' input field. At the bottom of the form are two checkboxes: 'I agree to the terms of the Vuforia Developer Agreement.' and 'I acknowledge that my personal details will be processed in accordance with PTC's privacy policy and may be used for marketing purposes by PTC Inc. its subsidiaries and members of the PTC Partner Network, solely for the promotion of PTC's products and associated services.' Below the checkboxes is a 'Create account' button.

Abbildung 34 Neuen Account kreieren

6.3.2 Downloads

Nach der Registration gelangt der User auf die Seite Downloads. Im Folgenden werden die einzelnen Unterabschnitte beschrieben.

6.3.2.1 Software Development Kit (SDK)

Auf dieser Seite sind je nach Betriebssystem verschiedene Vuforia Unity Packages vorhanden. Wenn die Unity noch nicht installiert ist, bietet diese Seite auch die Möglichkeit, die endgültige Version kostenlos zu installieren.

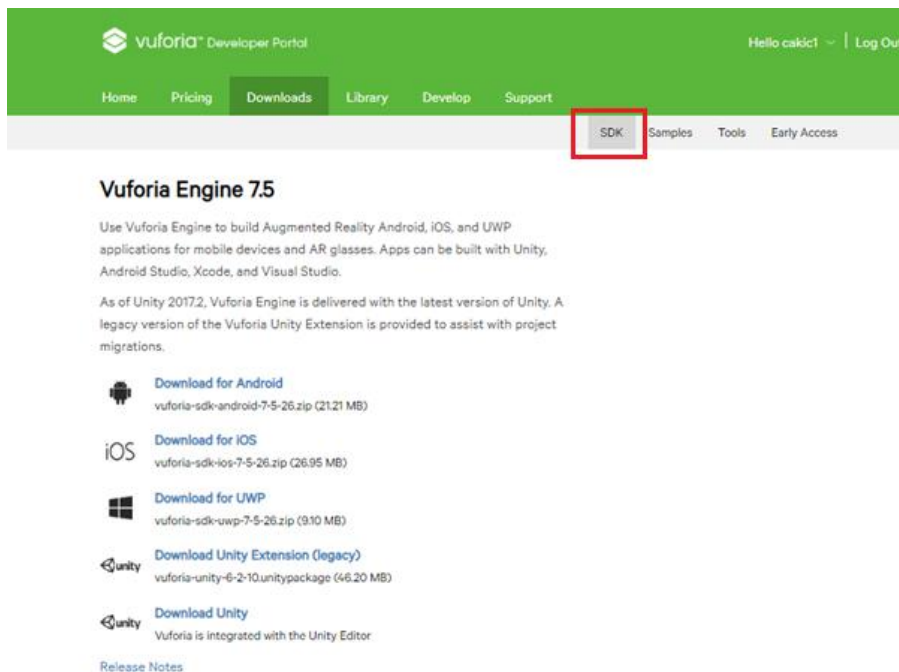


Abbildung 35 Downloads - SDK

6.3.2.2 Samples

Diese Seite enthält Samples und Informationen, die je nach Anforderung des Projekts erforderlich sind. Diese Samples können heruntergeladen und analysiert werden, um detaillierte Informationen darüber zu erhalten. Folgende Samples stehen zur Verfügung:

- Core Features
- Digital Eyewear
- Advanced Topics
- Best Practices
- Vuforia Web Services

The screenshot shows the Vuforia Developer Portal interface. At the top, there's a green header with the Vuforia logo and user information. Below the header is a navigation bar with tabs: Home, Pricing, Downloads, Library, Develop, Support, SDK, **Samples** (highlighted with a red box), Tools, and Early Access. The main content area is divided into two sections: 'Core Features' and 'Digital Eyewear'. Each section has a description of the samples and a list of download links for different platforms (Android, iOS, UWP) and the Unity Asset Store. The 'Core Features' section lists various targets like Model Targets, Ground Plane, Image Targets, etc. The 'Digital Eyewear' section describes samples for HoloLens and Digital Eyewear.

Core Features

These samples show how to build apps using the following core features of Vuforia. You can find the Unity Core Features sample in the Unity Asset Store.

- Model Targets
- Ground Plane
- Image Targets
- VuMark
- Object Recognition
- Cylinder Targets
- Multi Targets
- User Defined Targets
- Cloud Recognition
- Text Recognition (Native only)
- Virtual Buttons

[Printable target samples](#)

Digital Eyewear

These samples demonstrate how to build apps for the different classes of digital eyewear devices.

The **HoloLens** sample shows how to attach an AR experience to an image and enable extended tracking.

The **Digital Eyewear** sample demonstrates rendering on both mono and stereo eyewear devices. Mono rendering is supported for the Vuzix M300, and Stereo rendering is supported for the ODG R-7 and Epson BT-200.

The **AR/VR** sample shows how to create a mixed reality app for a video see-through device.

Download for Android
vuforia-samples-core-android-7-5-26.zip (48.25 MB)

Download for iOS
vuforia-samples-core-ios-7-5-26.zip (60.95 MB)

Download for UWP
vuforia-samples-core-uwp-7-5-26.zip (34.46 MB)

Download from Unity Asset Store

[Release Notes](#)

Download for Android
vuforia-samples-eyewear-android-7-5-20.zip (10.91 MB)

Download for iOS
vuforia-samples-eyewear-ios-7-5-20.zip (7.07 MB)

Download for UWP
VuforiaHoloLens-7-5-20.zip (5.78 MB)

Download from Unity Asset Store

[Release Notes](#)

Abbildung 36 Downloads – Samples

6.3.2.3 Tools

Die Tools werden unten näher beschrieben:

Vuforia Model Target Generator

The Model Target Generator is a Windows desktop application that allows you to quickly create targets from pre-existing 3D models. The Model Target Generator supports popular formats including .obj, .fbx, .pvt, .igs, .dae, .stp, and .vrm. [Learn more.](#)

The Model Targets Test App is an Android mobile application that provides an easy way to validate your target. After you install the Test App, simply side load your Model Target and test the app against the physical object. The Model Target Test App comes preconfigured with a 3D model of the Viking Lander. You can get a 3D-printable model of the Viking Lander [here](#).

Note 1: The Model Target test app supports Android devices running Android 5 and later.

Note 2: In order to create Model Targets for apps built using Vuforia Engine 7.2, download and use the compatible MTG 7.2 (legacy).

- [Download Model Target Generator](#)
ModelTargetGenerator-7-5-20.zip (151.96 MB)
- [Download Model Target Generator \(Legacy\)](#)
ModelTargetGenerator-7-2-24.zip (211.56 MB)
- [Download Model Targets Test App](#)
vuforia-unity-android-modeltargetstest-7-5-25.zip (4192 MB)

[Release Notes](#)

Vuforia VuMark Designer

The VuMark Designer allows you to create your own VuMark using Adobe® Illustrator®. VuMarks are completely customizable and designing them is easy. First, select an encoding type based on the type of data that you want to encode, such as a URL or serial number. Next, create a custom design around a logo or image of your choice. Finally, upload your exported VuMark to the target manager and generate as many as you need. [Learn more in the Design Guide.](#)

Adobe and Illustrator are either registered trademarks or trademarks of Adobe Systems Incorporated in the United States and/or other countries.

- [Download VuMark Designer](#)
VuMark-Designer-6.0.112.zip (4.97 MB)

Vuforia Object Scanner

The Vuforia Object Scanner allows you to create a target by scanning an object with an Android device. Simply install the app, place an object on the Vuforia scanning target, and start the scan. The app gives you real-time visual feedback on the scan progress and target quality and establishes a coordinate system so that you can build immersive experiences with precisely aligned digital content. The test mode allows you to evaluate the recognition and tracking quality within the app before you start any development. Complete instructions can be found in the [guide](#).

Note: the Vuforia Object Scanner is supported on the devices listed [here](#).

- [Download APK](#)
VuforiaObjectScanner-7-5-20.zip (29.04 MB)

[Release notes](#)

Vuforia Calibration Assistant

The Vuforia Calibration Assistant allows multiple users to create personalized calibration profiles for an optical see-through digital wearable device. A calibration

Abbildung 37 Downloads - Tools

6.3.2.3.1 Vuforia Model Target Generator

Die Applikation Model Target Generator wandelt die vorhandene 3D-Modelle, welche Vuforia gehören, zu Datasets um, damit die Vuforia Engine diese Modelle verfolgen kann.

<https://library.vuforia.com/articles/Solution/model-target-generator-user-guide.html>

6.3.2.3.2 Vuforia Vumark Designer

Mit diesem Designer kann für Vuforia ein qualitativer Marker erstellt werden.

<https://library.vuforia.com/articles/Training/VuMark-Design-Guide>

6.3.2.3.3 Vuforia Object Scanner

Dieser Scanner ist nur für Android gültig und wird ab Samsung Galaxy S5 unterstützt

<https://library.vuforia.com/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide>

1. Als Erstes wird die APK-Datei auf einem Android-Gerät installiert. Nach dem Hochladen erscheint die Applikation mit dem folgenden Symbol:

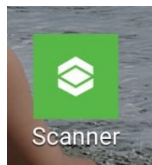


Abbildung 38 Logo Vuforia Object Scanner

2. Wenn die Applikation geöffnet wird, werden auf der Startseite die Objekte angezeigt, falls sie zuvor gescannt und gespeichert wurden. Anderenfalls erscheint eine leere Seite.

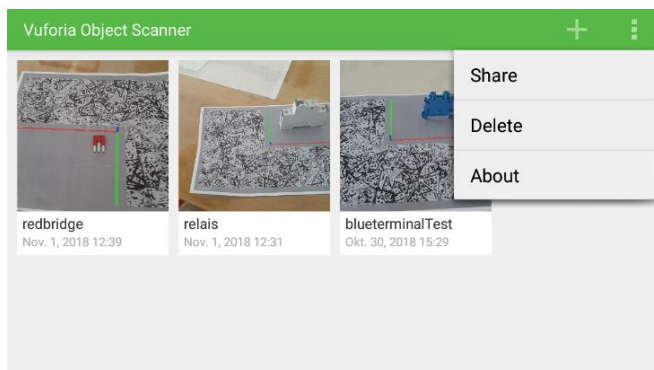


Abbildung 39 Startseite Vuforia Object Scanner

3. Wenn das Symbol (+) ausgewählt wird, öffnet sich die Kamera des Geräts und der 3D-Objekt-Scanner ist nun startbereit.

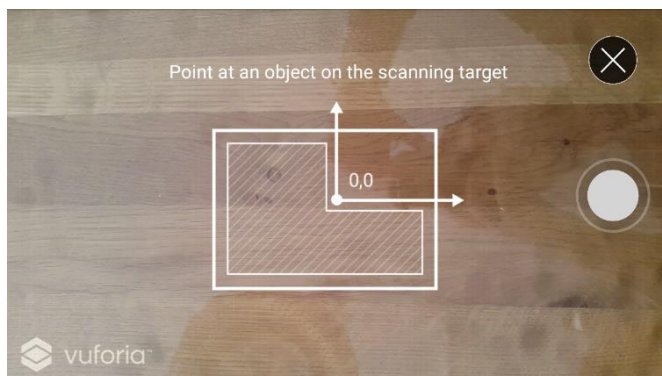


Abbildung 40 Marker-Scanning

4. Damit der Objekt-Scanner starten kann, muss der Marker von Vuforia benutzt werden. Dieser Marker muss auf einem A4-Papier ausgedruckt und das 3D-Objekt beim Marker im Raster platziert werden (oben rechts).

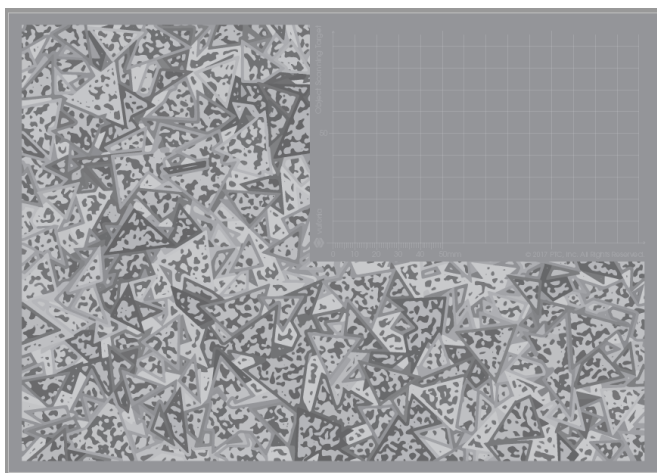


Abbildung 41 Marker von Vuforia Object Scanner

5. Die Kamera liest den Marker ein und dann erscheint ein lokales Koordinatensystem, damit die Größe und die Richtung des 3D-Objektes, welches eingescannt wird, bestimmt werden kann.

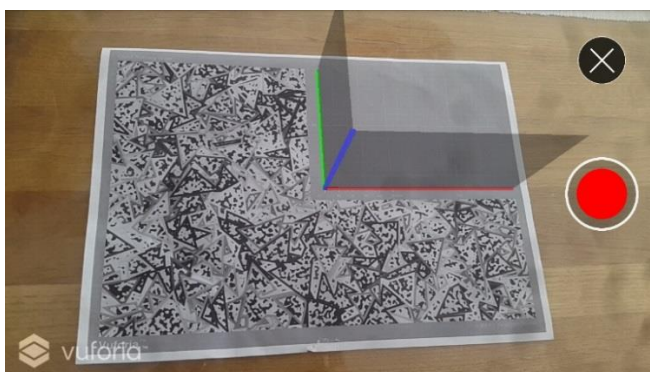


Abbildung 42 Koordinatensystem Vuforia Object Scanner

6. Das zu scannende Objekt sollte in dem angezeigten Raster platziert werden. Wenn alles bereit ist, kann das Scannen gestartet werden. Dafür muss auf den roten Punkt geklickt werden.

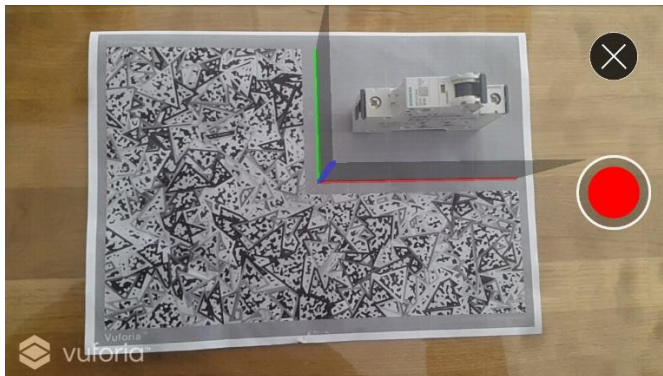


Abbildung 43 Objektplatzierung im Raster

7. Wie auf den folgenden Abbildungen ersichtlich ist, erscheinen während dem Scannen auf dem Objekt grüne Punkte, welche Merkmalspunkte genannt werden. Diese können als Informationspunkte bezeichnet werden, welche das Objekt identifizieren. Durch die Definition dieser Punkte kann das Objekt überall oder in einer anderen Perspektive erkannt oder verfolgt werden.

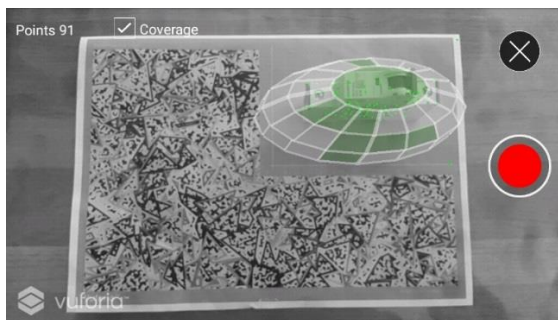


Abbildung 44 Merkmalspunkte mit Coverage

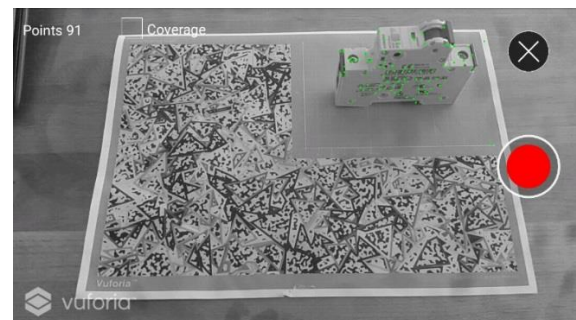
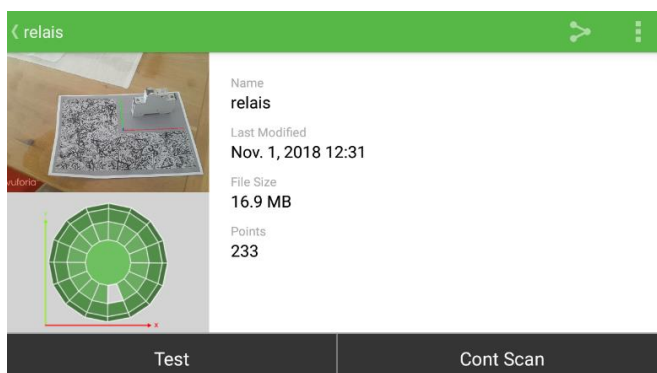


Abbildung 45 Merkmalspunkte ohne Coverage

8. Nachdem das gescannte Objekt gespeichert wird, erscheinen die Objektinformationen (Objektname, Speicherdatum, Dateigröße und Anzahl Merkmalspunkte). Je mehr Merkmalspunkte vorhanden sind, desto besser kann das Objekt erkannt werden. Wie die untenstehende Abbildung zeigt, gibt es total 233 Merkmalspunkte. Dies war das Resultat, welches ich mit meinem Handy (Samsung Galaxy Alpha) erzielt habe. Nachher wurde dieses Objekt mit Samsung Galaxy S8+ gescannt. Das Resultat betrug nun 536 Merkmalspunkte. Dies bedeutet, dass beim Objektscannen mit der Vuforia-Anwendung die Technologie des Handys sowie die Raumbelichtung eine grosse Rolle spielen.



Die gespeicherte Objektdatei hat das Format „.od“ Die Verwendung dieser Datei wird im Kapitel **6.3.3.2 Target Manager** beschrieben.

6.3.2.3.4 Vuforia Calibration Assistant

Jeder Mensch hat eine andere Gesichts- und Augenstruktur. Obschon es nicht einfach ist die virtuelle Welt in der realen Welt anzuzeigen, machen diese humanistischen Unterschiede es noch schwieriger. Aus diesem Grund können mit der Vuforia Calibration Assistant die Einstellungen für das verwendete Gerät personalisiert werden.

6.3.3 Develop

Auf der Seite Develop müssen folgende Schritte erledigt werden, damit bei der zu entwickelnden Anwendung die Erkennung sowie die Verfolgung der Bilder oder Objekte möglich ist:

- Lizenzschlüssel erstellen
- Bild- oder 3D-Objekt-Dateien hochladen
- Datenbank für hochgeladene Dateien erstellen

Im Folgenden werden die einzelnen Unterabschnitte beschrieben.

6.3.3.1 License Manager

In diesem Abschnitt muss ein Projekt erstellt werden, um einen Lizenzschlüssel zu erhalten. Diese Aktion findet im License Manager statt. Um eine kostenpflichtige Lizenz zu erhalten, wird der *Buy Deployment Key* ausgewählt. Für eine kostenlose Lizenz steht hingegen der *Get Development Key* zur Verfügung.

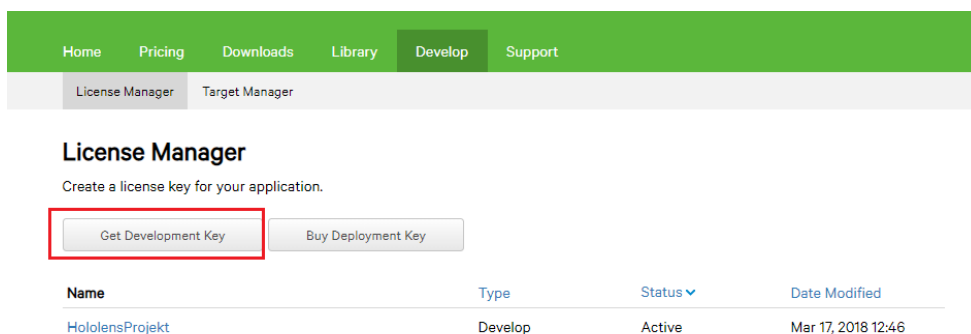


Abbildung 46 Develop – License Manager

6.3.3.1.1 Get Development Key – Lizenzschlüssel erstellen

Hier kann einerseits der Projektname eingegeben werden und andererseits werden Informationen zum Lizenzschlüssel angezeigt. Mit dem Button *Confirm* wird dann der Schlüssel erstellt.

License Manager Target Manager

[Back To License Manager](#)

Add a free Development License Key

App Name

Test-Key| You can change this later

License Key

Develop
Price: No Charge
Reco Usage: 1,000 per month
Cloud Targets: 1,000
VuMark Templates: 1 active
VuMarks: 100

☐ By checking this box, I acknowledge that this license key is subject to the terms and conditions of the [Vuforia Developer Agreement](#).

Cancel Confirm

Abbildung 47 Kostenloser Lizenzschlüssel erstellen

In der folgenden Abbildung sind bereits erstellte Lizenzschlüssel aufgelistet:

License Manager

Create a license key for your application.

Get Development Key Buy Deployment Key

Name	Type	Status ▼	Date Modified
HololensProjekt	Develop	Active	Mar 17, 2018 12:46
Test-Key	Develop	Active	Dec 11, 2018 13:43

Abbildung 48 Erstellter Lizenzschlüssel - Beispiel

Um zum Beispiel den Lizenzschlüssel *Test-Key* anzuzeigen, kann draufgeklickt werden. Die Maske *License Manager* erscheint. Der Schlüssel sowie die dazugehörigen Informationen und Berechtigungen werden ersichtlich. Ebenfalls kann hier mit *Edit Name* der Applikationsname umbenannt und mit *Delete License Key* gelöscht werden.

Test-Key [Edit Name](#) [Delete License Key](#)

License Key

[Usage](#)

Please copy the license key below into your app

```
AR0sncz/////AAABmaJ/fyHavEeasdLOgSGc2BpQI19+5NgR21j/  
8YDXSIQdFA/w577mRKXrM9UIxuB7ZQsxtiXJT8ya2/31JbPVts8C  
CFCLHt2qeDkiitDpYbdXQuTW7hZ3cDPXGfxqkvWZ+nPzMMxnY+4v  
VFv1louAutw8UiPQchRMcIpaBmqLcUzBfenIFQiCfKQXJoLZOun6  
N1z4XQSZ4dxuv2/QtIKBqvYzP/OAZSj7pAIcVN5mYEasvjms2NGN  
jyB40A/Z55QVE9N1UNRBsCZoYYIFTGxHqR2ADlwDG+mtc7wj4wFU  
WyD6Joq6U/rNPlRKMqMDW69aDSxCwqVXD4m9CGgqr3HqkXMVzqoJ  
J6qhVJ1ekVMm51+9
```

Type: Develop

Status: Active

Created: Dec 11, 2018 13:43

Permissions:

- Advanced Camera
- External Camera
- Model Targets
- Watermark

History:

License Created - Today 13:43

Abbildung 49 License Key

Im nächsten Tab Usage werden weitere Informationen zur Verwendung der Lizenzschlüssel angezeigt.

Test-Key [Edit Name](#) [Delete License Key](#)

[License Key](#)

Usage

Cloud Recos

0 of 1,000 (0%)

Cloud Databases: None

License Type: Develop

Reco Usage: 1,000 per month

Cloud Targets: 0 of 1,000

[Statement History](#)

Last updated: Today 13:31

VuMarks generated

0 of 100 (0%)

VuMark Databases: None

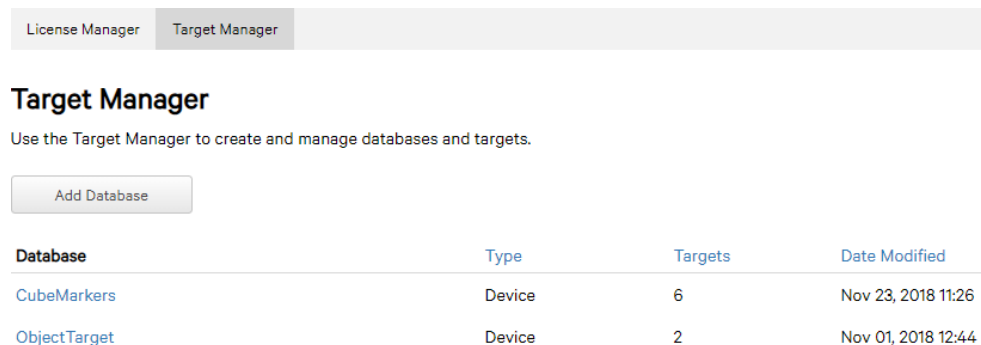
VuMark Templates: 1 active

VuMarks: 100

Abbildung 50 License Key Usage

6.3.3.2 Target Manager

Hier sind bereits bestehende Datenbanken aufgelistet oder es können neue Datenbanken für die Bild- oder 3D-Objekt-Targets erstellt werden.



The screenshot shows the 'Target Manager' tab in a software interface. At the top, there is a navigation bar with 'License Manager' and 'Target Manager'. Below the navigation bar, the title 'Target Manager' is displayed, followed by the instruction 'Use the Target Manager to create and manage databases and targets.' A button labeled 'Add Database' is located on the left. Below this, a table lists existing databases:

Database	Type	Targets	Date Modified
CubeMarkers	Device	6	Nov 23, 2018 11:26
ObjectTarget	Device	2	Nov 01, 2018 12:44

Abbildung 51 Target Manager - Datenbanken

6.3.3.2.1 Datenbank erstellen

Mit dem Button *Add Database* ist es möglich, eine neue Datenbank zu generieren. Auf der Maske *Create Database* muss der Name eingegeben und der Typ ausgewählt werden.

Create Database

Name:

Type:

- ☒ Device
- ☐ Cloud
- ☐ VuMark

Cancel

Create

Abbildung 52 Datenbank kreieren

In dieser Bachelorarbeit wurde bei der Erstellung der Datenbanken die *Device Type* ausgewählt [Anmerk. des Verfassers].

6.3.3.2.2 Target (Marker) erstellen

Im Folgenden wird erklärt, wie ein Target generiert werden kann.

1. Um ein neues Target zu erstellen, muss eine Datenbank ausgewählt werden, damit die folgende Maske erscheint:

The screenshot shows the 'Target Manager' interface. At the top, there are tabs for 'License Manager' and 'Target Manager'. Below the tabs, the breadcrumb 'Target Manager > CubeMarkers' is visible. The main heading is 'CubeMarkers' with an 'Edit Name' link. Below this, it says 'Type: Device'. A 'Targets (9)' button is present. Two buttons are highlighted with red boxes: 'Add Target' and 'Download Database (4)'. Below these buttons is a table with columns: Target Name, Type, Rating, Status, and Date Modified. The table lists 9 targets, with the first three ('relais_object', 'Cylinder', 'Cuboid') selected. The last target, 'Bilard', is also highlighted with a red box. At the bottom, it says 'Last updated: Today 07:28 AM' with a 'Refresh' link.

Target Name	Type	Rating	Status	Date Modified
4 selected Delete				
<input checked="" type="checkbox"/> relais_object	Object	n/a	Active	Dec 12, 2018 07:25
<input checked="" type="checkbox"/> Cylinder	Cylinder	n/a	Incomplete	Dec 12, 2018 06:33
<input checked="" type="checkbox"/> Cuboid	Cuboid	n/a	Incomplete	Dec 12, 2018 06:32
<input type="checkbox"/> RedBridge	Single Image	★★★★★	Active	Nov 22, 2018 17:05
<input type="checkbox"/> Relais	Single Image	★★★★★	Active	Nov 22, 2018 17:02
<input type="checkbox"/> GrayTerminal	Single Image	★★★★★	Active	Nov 22, 2018 16:27
<input type="checkbox"/> BlueTerminal	Single Image	★★★★★	Active	Nov 22, 2018 16:27
<input type="checkbox"/> vufoaria	Single Image	★★★★★	Active	Mar 18, 2018 12:20
<input checked="" type="checkbox"/> Bilard	Single Image	★★★★★	Active	Mar 17, 2018 15:10

Last updated: Today 07:28 AM Refresh

Abbildung 53 Inhalt Datenbank - Liste der Targets

2. Mit dem Button *Add Target* kann das Target mit gewünschtem Typ erstellt werden. Es gibt folgende Target-Typen:

















<h3>Single Image</h3> <p>Type:</p> <div>     </div> <p>Single Image Cuboid Cylinder 3D Object</p> <p>File:</p> <p>Choose File <input type="button" value="Browse..."/></p> <p>.jpg or .png (max file 2mb)</p> <p>Width:</p> <input type="text"/> <p>Enter the width of your target in scene units. The size of the target should be on the same scale as your augmented virtual content. Vuforia uses meters as the default unit scale. The target's height will be calculated when you upload your image.</p> <p>Name:</p> <input type="text"/> <p>Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.</p> <p><input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Add"/></p>	<h3>Cuboid</h3> <p>Type:</p> <div>     </div> <p>Single Image Cuboid Cylinder 3D Object</p> <p>Dimension:</p> <p>Width: <input type="text"/></p> <p>Height: <input type="text"/></p> <p>Length: <input type="text"/></p> <p>Enter the width, height and length of your target in the same unit as your augmentation. The size of the target shall be relative to the size of the augmented virtual content.</p> <p>Name:</p> <input type="text"/> <p>Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.</p> <p><input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Add"/></p>
<h3>Cylinder</h3> <p>Type:</p> <div>     </div> <p>Single Image Cuboid Cylinder 3D Object</p> <p>Dimension:</p> <p>Bottom Diameter: <input type="text"/></p> <p>Top Diameter: <input type="text"/></p> <p>Side Length: <input type="text"/></p> <p>Enter the dimensions of your target in scene units. The size of your target shall be on the same scale as your augmented virtual content. If you enter '0' for the top or bottom diameter, your target will be cone shaped.</p> <p>Name:</p> <input type="text"/> <p>Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.</p> <p><input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Add"/></p>	<h3>3D Object</h3> <p>Type:</p> <div>     </div> <p>Single Image Cuboid Cylinder 3D Object</p> <p>File:</p> <p>relais.od <input type="button" value="Browse..."/></p> <p>File must be Vuforia Object Scanner data. For more information, see the Vuforia Object Scanner Application.</p> <p>Name:</p> <p>relais <input type="text"/></p> <p>Name must be unique to a database. When a target is detected in your application, this will be reported in the API.</p> <p><input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Add"/></p>

Tabelle 2 Target-Typen

6.3.3.2.3 Download Database

Nach Hinzufügung aller gewünschten Targets zur Datenbank, kann die Datenbank in der gewünschten Development Plattform Type heruntergeladen werden. Beim Download können eine oder mehrere Targets aktiviert werden (bei der Abbildung 53 Inhalt Datenbank - Liste der Targets wurden beispielsweise vier Targets ausgewählt).

Download Database

4 of 9 active targets will be downloaded

Name:

CubeMarkers

Select a development platform:

☒ Android Studio, Xcode or Visual Studio

☐ Unity Editor



Abbildung 54 Download Database

6.3.3.2.4 Funktionen zu den Targets

Nachdem ein Target in der Datenbank ausgewählt wird, kann er umbenannt (*Edit Name*) oder gelöscht (*Remove*) werden. Je nach Target-Typ stehen verschiedene Funktionen bzw. Informationen zur Verfügung. Im Folgenden werden die möglichen Funktionen zu den Target-Typen beschrieben.

1. Single Image

- Das Bild kann ersetzt werden, ohne den Namen zu ändern (*Update Target*)
- Die Merkmalspunkte auf dem Target können angezeigt werden (*Show Features/Hide Features*)

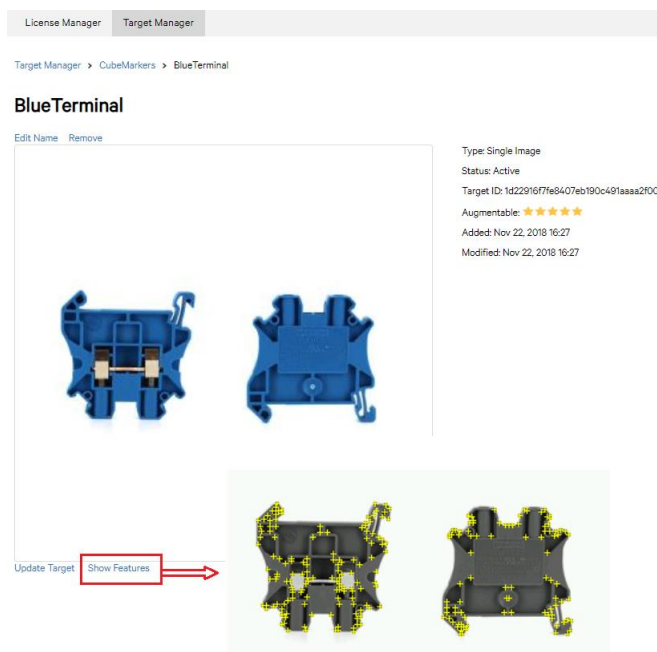


Abbildung 55 Single Image - Funktionen

2. Object

Hier stehen die gleichen Funktionen wie bei Single Image zur Verfügung.

blueterminalTarget

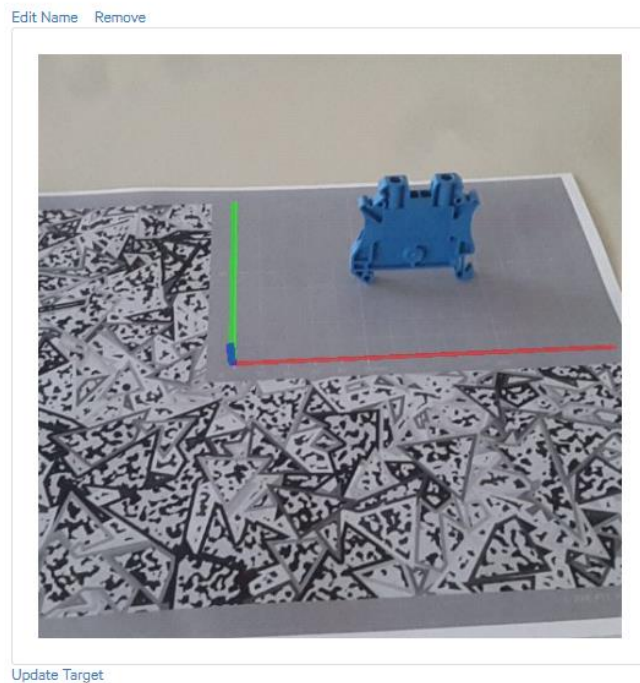


Abbildung 56 Object – Funktionen

3. Cuboid und Cylinder

Auf jede Seite kann ein gewünschtes Bild als Textur geladen werden.

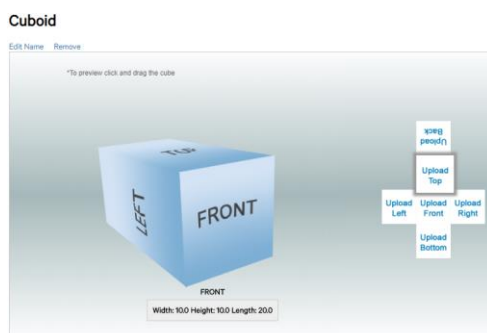


Abbildung 57 Cuboid - Funktionen

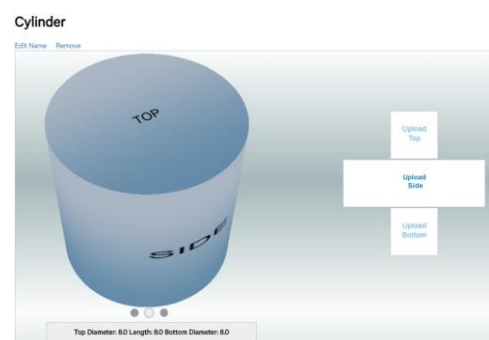


Abbildung 58 Cylinder - Funktionen

7 Applikation

7.1 Reihenklemmen

Wie schon oben erwähnt, ist das Ziel dieser Arbeit herauszufinden, wie die Montagearbeiten einer komplexen Maschine mit HoloLens unterstützt werden können. Aufgrund der technisch begrenzten Möglichkeiten ist es ziemlich schwierig, die Montage einer echten Maschine zu zeigen. Deshalb wurden Reihenklemmen verwendet.

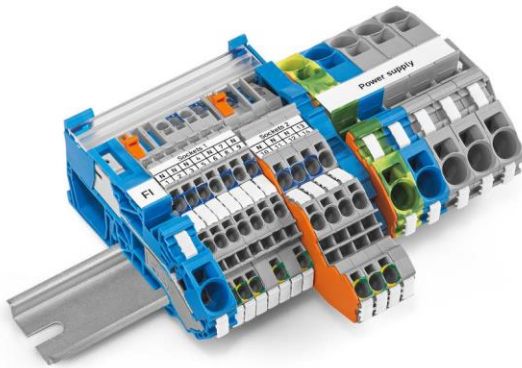


Abbildung 59 Reihenklemme-1

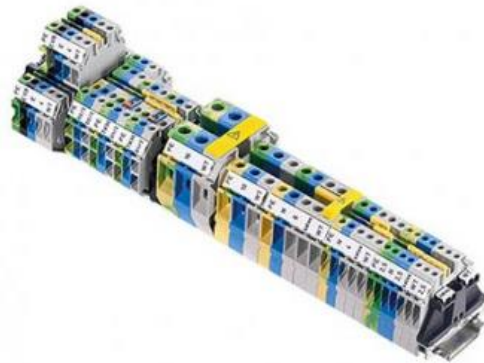


Abbildung 60 Reihenklemme-2

Die oben aufgezeigten Klemmen werden zum Verbinden der leitfähigen Elemente, welche in einer voneinander getrennten Position sind, verwendet. Der äussere Körper dieser Reihenklemmen besteht aus Isoliermaterial. Sie werden nebeneinander als Block in elektrischen Platten auf einer Schiene verwendet.¹⁰

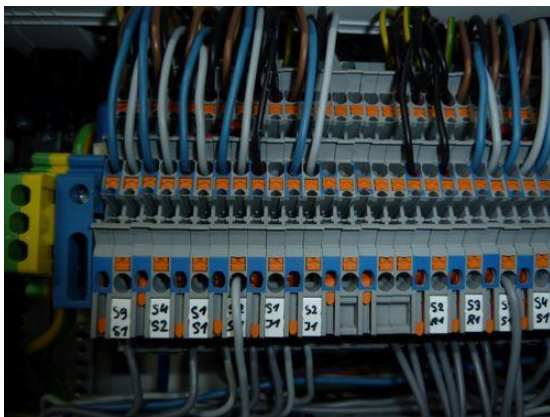


Abbildung 61 Montierte Reihenklemmen-1



Abbildung 62 Montierte Reihenklemmen-2

Im Folgenden werden die einzelnen Elemente der Reihenklemmen, welche im Projekt verwendet wurden, mit Bildern aufgezeigt:

¹⁰ [https://de.wikipedia.org/wiki/Klemme_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Klemme_(Elektrotechnik))

7.1.1 Durchgangsklemme (Terminal)

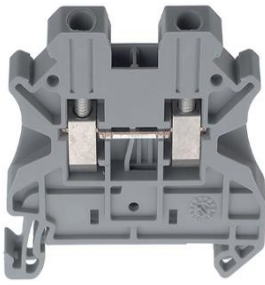


Abbildung 63 Graue Durchgangsklemme

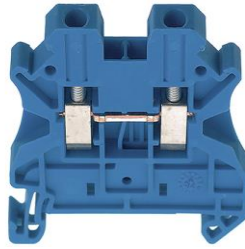


Abbildung 64 Blaue Durchgangsklemme

7.1.2 Steckenbrücke (Red Bridge)



Abbildung 65 Rote Steckenbrücke

7.1.3 Leitungsschutzschalter (Relais)

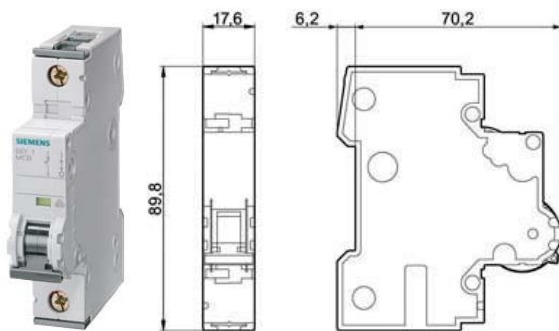


Abbildung 66 Leitungsschutzschalter

7.1.4 Trageschiene TS35 (Rail)



Abbildung 67 Trageschiene

Als erstes wollte ich HoloLens besser verstehen. Diesbezüglich habe ich im Internet nach Literatur recherchiert und die Theorie sowie die Hardware und die Software von HoloLens studiert. Die detaillierten Forschungen habe ich im Kapitel **4 HoloLens** beschrieben.

Damit die Projekte, welche mit Unity erstellt worden sind, im HoloLens ausgeführt werden können, muss ein Tool namens „HoloToolkit.Unitypackage“ hochgeladen werden. Nachdem in Unity die HoloLens Camera definiert wird, können die virtuellen Arbeiten mit HoloLens angezeigt werden. Das Tool „HoloToolkit.Unitypackage“ wurde im Kapitel 5 **Unity** näher beschrieben.

In meinem Projekt habe ich mit Vuforia gearbeitet. Aus technischer Sicht erbringt Vuforia viele Erleichterungen mit sich. Beispielsweise können viele Bilder, Objekte und Umgebungen wahrgenommen werden. Dies bedingt jedoch, dass das Tool „vuforia.unity.package“ hochgeladen oder bei der Unity-Installation ausgewählt wird. Während meiner Tests mit Vuforia habe ich als Erstes gelernt, wie der Marker funktioniert und gescannt wird. Danach konnte ich mit Hilfe des Markers in einer bestimmten Koordinate das Reihenklemmen-Modell in der realen Welt anzeigen. Mit HoloLens muss ganz gerade und von oben zum Marker geschaut und gescannt werden. So wird das Modell gerade angezeigt.

In meiner Arbeit besteht das Modell aus Reihenklemmen-Teilen. Die nötigen Reihenklemmen-Teile habe ich als STL-Datei über folgende Links heruntergeladen:

[illegible]

40

7.5 Arbeit mit Unity

Damit das Projekt realisiert werden kann, müssen die virtuellen Modelle mit den realen Objekten die identische Grösse haben. Nach etlichen Versuchen wurden alle Teile der Realität nah skaliert und somit wurde mit der Programmierung gestartet.

Mit der theoretischen und groben Projektplanung wollte ich folgende Punkte realisieren:

- Erstellung einer Json-Datei, die die Montageteile, deren Reihenfolgen sowie zusätzliche Informationen beinhalten. Diese Datei muss danach von der Software gelesen werden können.
- Speicherung der virtuellen Teile (1:1 Massstab mit realen Teilen) in Unity als Prefabs.
- Klonung und Platzierung der für die Montage erforderlichen Teile von Prefabs.
- Erstellung der Animationen für jeden Prefab, welche die Zusammenfügung der Teile anzeigen.
- Platzierung des virtuellen Modells in der realen Welt mit Hilfe von Vuforia.
- Aufbau eines Bereichs, der anzeigt, welches Teil als nächstes montiert werden muss.
- Steuerung aller Aktionen mit Sprachbefehlen
- Entwicklung eines virtuellen Stimulators, der während der Montage anzeigt, welches reale Montageteil verwendet werden muss.

Am Ende des Projekts wurden all die oben beschriebenen Punkte realisiert. Diese werden in den nächsten Unterkapiteln ausführlicher beschrieben.

7.5.1 Json-Datei

In meiner Projekt2-Arbeit habe ich getestet, ob mit HoloLens die Erstellung einer Montageanleitung möglich ist. Das mit HoloLens anzuzeigende Modell wurde dabei in Unity fix modelliert und als Hardcore programmiert. Dieses Projekt war also ein Prototyp und konnte als Produkt nicht gebraucht werden, da es für die Benutzer viele Probleme verursacht hätte. Falls der Benutzer mit einem anderen Modell hätte arbeiten wollen, hätte er in Unity alle Modelle und Modellstrukturen ändern und den Code dementsprechend anpassen müssen. In dieser Bachelorarbeit sollte diese Situation jedoch verbessert und eine effizientere und dynamischere Lösung gesucht werden. Hierfür wurde die Json-Datei verwendet.

Der Hauptzweck der Json-Datei ist die Austauschmöglichkeit der Daten in kleineren Grössen. Ausserdem können die Json-Dateien von Benutzern problemlos gelesen und geschrieben werden. Dies sind Gründe, weshalb ich die Json-Datei verwendet habe.

Um die Json-Datei zu erstellen und den Inhalt mit einer definierten Struktur zu füllen, habe ich zuerst einen kleinen Code geschrieben. Im Code ist die Struktur wie folgt:

```
{
  "Imodel": [
    {
      "ModelName": "Model(1)-1R4BT4GT2RLS2RB",
      "matofmodel": [
        {
          "matNo": 1,
          "GoName": "R",
          "MatName": "Rail",
          "UnityMat": "trf_matR",
          "MatInfo": "Material Informationen"
        }
      ],
      "matreihenfolge": [
        {
          "matno": 1,
          "matRheinfoolge": 1,
          "redbridgeInfo_FrontRow": false
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Abbildung 68 Struktur Json-Datei

In der folgenden Tabelle wird die Struktur erläutert:

matofmodel	Informationen über alle zu verwendenden Materialien
<i>matNo</i>	Materialnummer
<i>GoName</i>	Game Objektname; muss den gleichen Namen haben wie die Prefabs in Unity
<i>MatName</i>	Materialname
<i>UnityMat</i>	UnityMaterial Name; muss den gleichen Namen haben wie die Materialien in Unity
<i>MatInfo</i>	Materialinfo
matreihenfolge	Materialreihenfolge; hier werden die zu verwendenden Materialien in ihrer Reihenfolge angegeben
<i>matNo</i>	Materialnummer
<i>matReihenfolge</i>	Materialreihenfolge
<i>redbridgeInfo-FrontRow</i>	Dieser Boolean-Parameter gibt an, wohin (vorne oder hinten) die roten Steckenbrücken auf den Terminals montiert werden müssen

Wie aus der Struktur der Json-Datei hervorgeht, können mehrere Modelle erstellt werden. Ebenfalls können in diesen Modellen Materialien in beliebiger Anzahl und Reihenfolge ergänzt werden, d. h. es kann eine andere Sortierung und Anzahl von Materialien hinzugefügt werden. Dadurch können mit verschiedenen Modellen und Designs gearbeitet werden.

Falls die Json-Datei für ein neues Modell erstellt werden soll, gibt es diesbezüglich zwei Möglichkeiten: Als Erstes kann das Programm, das die Json-Datei erstellt und mit Inhalt auffüllt, angepasst werden. Dieser Weg ist zurzeit jedoch nicht empfehlenswert, da das Programm kein User Interface hat. Die andere Möglichkeit ist, dass in der Json-Datei Anpassungen vorgenommen werden können. Dieser Weg ist viel einfacher, da die Json-Datei, wie schon erwähnt, nur aus Text besteht und von Benutzern leicht gelesen und verstanden werden kann.

7.5.2 Prefabs

Die Objekte in Blender wurden gut orientiert und deren Dateitypen geändert, damit sie in Unity verwendet werden können. Dann wurde in Unity jedes Modellteil 1:1 mit den realen Teilen skaliert. Diese skalierten Teile wurden in Unity als Prefabs gespeichert. Mit dieser Speicherung können mit Hilfe der Programmierung die Prefabs geklont werden. Somit können sie dynamisch je nach gewünschter Anzahl, gewünschten Eigenschaften sowie in gewünschter Position vermehrt werden.

In meiner Arbeit sind fünf Prefabs vorhanden. Diese werden ja nach Informationen aus der Json-Datei vermehrt und deren Position geändert.

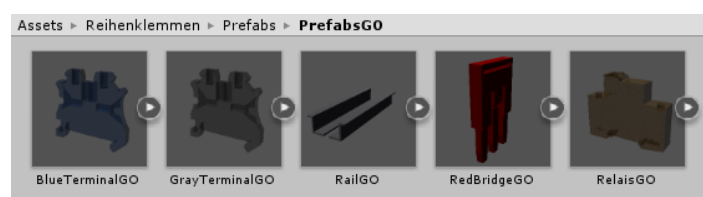


Abbildung 69 Prefabs in Unity

Jeder geklonte Prefab hat zur Identifikation einen eigenen Namen. Mit den Sprachbefehlen *Reset*, *Completely*, *Next* und *Previous* können Klone ergänzt oder gelöscht werden. Ebenfalls wurde für jeden Prefab bzw. für jedes Modellteil Animationen hinzugefügt, welche die Montage anzeigen. Aus diesem Grund erhalten die Teile beim Klonen die Farben und Animationen der Prefabs, von welchen sie geklont wurden.

7.5.3 Animationen

Durch Hinzufügen von Animationen für die Modellteile kann angezeigt werden, wohin das nächste Teil montiert werden soll und welches an der Reihe ist. Somit können Informationen über die eingehenden Teile erhalten werden. Ebenfalls wurden grüne Pfeile (wird im Kapitel 7.5.3.3 Grüne Pfeile für die Kästchen) konfiguriert, welche die Kästchen anzeigen, in der sich die realen Teile befinden.

7.5.3.1 Das nächstegehende Teil

Nachdem das nächstegehende Teil aktiv wird, wird mit der Animation von oben nach unten virtuell angezeigt, wohin es montiert werden soll.

7.5.3.2 Anzeige des nächstegehenden Teils

In der oberen rechten Ecke vom HoloLens-Display wird immer das nächstegehende Teil angezeigt. Dieses Teil wird mit zwei verschiedenen Animationen visualisiert. Die erste Animation dreht das Teil von links nach rechts und die zweite von oben nach unten. Somit ist ersichtlich, welche Struktur und Ansicht das nächstegehende Teil haben wird.

7.5.3.3 Grüne Pfeile für die Kästchen

Ein grüner Pfeil hilft uns durch eine Animation das richtige Teil aus dem richtigen Kästchen zu nehmen. Damit HoloLens die Kästchen erkennen kann, hat jedes einen eigenen Marker. Wenn mit HoloLens die Kästchen angesehen werden, erscheint nur auf dem Kästchen ein grüner Pfeil, in welchem sich der nächst zu montierende Teil befindet.

7.5.4 Vuforia

7.5.4.1 AR-Camera

Die AR-Technologie kann nicht mit der Standardkamera von Unity angewendet werden. Aus diesem Grund wird die AR-Kamera benutzt, die von Vuforia angeboten wird. Nachdem die AR-Kamera dem Projekt hinzugefügt wird, muss die LicenseKey beigefügt werden, um diese Kamera überhaupt verwenden zu können. Diese Schritte sind in den Kapiteln **5.2 Vuforia Konfiguration und Verwendung in Unity** sowie **6.3.3.1 License Manager** beschrieben. Nachdem der AR-Kamera die LicenseKey hinzugefügt wurde, kennt sie auch die Datenbanken der Targets (siehe Kapitel 6.3.3.2 Target Manager). Dadurch ist es im Projekt möglich, mit jedem Target in der Datenbank zu arbeiten.

7.5.4.2 Image Target

Image Target Unity ist eine Komponente von Vuforia. Mit Hilfe von Image Target werden die Bilder von AR-Geräten gescannt. Danach werden die unter Image Target definierten virtuellen Objekte in der realen Welt positioniert. Ebenfalls kann für jeden Target ein Image Target verwendet werden. Aufgrund dieser Erleichterung habe ich in meinem Projekt verschiedene Image Targets benutzt.

7.5.4.2.1 Image Target für das Modell

Hier habe ich ein Image Target benutzt, um mein virtuelles Modell in der realen Welt an einem beliebigen Ort zu positionieren.

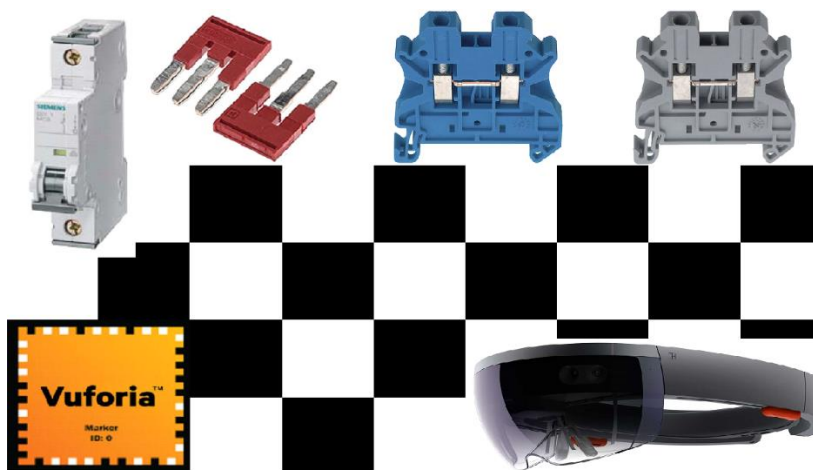


Abbildung 70 Marker für das Modell

Unterhalb vom erstellten Image-Target-Bild kommen die geklonten Objekte. Somit können mit fixen oder definierten Koordinaten die virtuellen Modellteile in der richtigen Reihenfolge positioniert werden.

7.5.4.2.2 Image Target für die Kästchen

In meinem Projekt werden, wie schon beschrieben, Reihenklemmen montiert. Für die Reihenklemmen (ausser der Schiene) werden vier verschiedene Teile verwendet. Jedes Teil hat ein Kästchen. Damit HoloLens als auch der Benutzer die Kästchen voneinander unterscheiden kann, gibt es vor jedem Kästchen ein Bild zur Identifizierung. Diese Bilder wurden in Vuforia unter Target Manager erstellt und in der Unity-Datenbank abgelegt. Dies wird unter Kapitel 6.3.3.2 Target Manager näher beschrieben.

 <p>Abbildung 71 Marker für die blaue Durchgangsklemme</p>	 <p>Abbildung 72 Marker für die rote Steckenbrücke</p>
 <p>Abbildung 73 Marker für die graue Durchgangsklemme</p>	 <p>Abbildung 74 Marker für den Leitungsschutzschalter</p>

Für jedes Bild wurde in Unity eine Image-Target-Komponente hinzugefügt. In diesen Komponenten wurden virtuelle grüne Pfeile platziert. Das Ziel dieser grünen Pfeile ist, dass der Benutzer das richtige Teil für den nächsten Montageschritt nimmt.

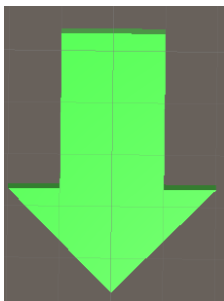


Abbildung 75 Virtueller grüner Pfeil

7.5.5 Next Part

Damit die nächsteingehenden Teile im Voraus angezeigt werden, wurden die oben beschriebenen Reihenklemmen kopiert und deren Grössen verkleinert. Danach wurden sie in Unity unter die AR-Kamera transportiert und deren Position definiert. Somit können mit HoloLens diese virtuellen Objekte rechts oben in der Ecke angezeigt werden, egal wohin geschaut wird. Hier werden die Teile mit zwei separaten Animationen angezeigt. Das obige Teil dreht sich von links nach rechts um seine Achse und das untere

Teil dreht sich von oben nach unten um seine Achse. Der Vorteil einer solchen Darstellung ist, dass vom Benutzer das nächste Teil von jeder Perspektive aus gesehen und erkannt werden kann.

7.5.6 Sprachbefehle

Die entwickelten Funktionen können mit Sprachbefehlen gesteuert werden, was eine grosse Erleichterung in der täglichen Arbeit ist. Der Montagearbeiter muss die Befehle nicht mit Klick-Event steuern, sondern kann die Steuerung mit Sprachbefehlen vornehmen. Somit hat er beide Hände frei und kann seine Montagearbeit weiter ausführen. Damit diese Technologie benutzt werden kann, müssen die Skripten **Speech Input Handler** und **Speech Input Source** angewendet werden, welche das HoloToolkit anbietet.

Im Folgenden werden die im Projekt entwickelten Sprachbefehle beschrieben:

Sprachbefehl	Beschreibung
<i>Start</i>	AR-Kamera wird für Vuforia aktiviert.
<i>Stop</i>	AR-Kamera wird für Vuforia deaktiviert.
<i>Completely</i>	Das ganze 3D-Modell wird visuell angezeigt.
<i>Reset</i>	Es wird in die Ausgangslage zurückgekehrt, in dem alle hinzugefügten Teile vom Modell entfernt werden.
<i>Next</i>	Das nächste Objekt erscheint.
<i>Previous</i>	Das zuletzt erscheinende Objekt wird entfernt.
<i>Dark</i>	Die Farbe des 3D-Modells wird um Alpha-Ton erhöht. Somit wird es farbiger und klarer.
<i>Light</i>	Die Farbe des 3D-Modells wird um Alpha-Ton reduziert. Somit wird es heller und transparenter.
<i>New Assembly</i>	Wenn in Json-Datei noch ein anderes Modell erstellt wurde, wird das nächste Modell aufgerufen.
<i>Last Assembly</i>	Wenn in Json-Datei noch ein anderes Modell erstellt wurde, wird das letzte Modell aufgerufen.

Tabelle 3 Beschreibung der Sprachbefehle

7.6 Fehler und Lösungen

Bei der Entwicklung dieses Projekts wurde ich mit einigen Schwierigkeiten konfrontiert. Während der zeitaufwändigen Lösungssuche konnte ich jedoch sehr viel Neues lernen. Zwei Schwierigkeiten möchte ich unten kurz erwähnen.

7.6.1 Hochladen der Json-Datei in HoloLens

Beim Hochladen des Projekts in HoloLens konnte die Json-Datei nicht installiert werden.

1. Lösungsversuch: Im Projektordner habe ich, wie die Ordnerstruktur in Unity, *Asset>Ressource>Json-Datei* hinzugefügt. Jedoch funktionierte dies nicht.

2. Lösungsversuch: Dann habe ich mit Hilfe der Web-Interface von HoloLens in den Ordner, in welchem sich meine Bachelorarbeit befindet, die Ordnerstruktur *Asset>Ressource>Json-Datei* hinzugefügt. Mit diesem Vorgehen konnte HoloLens die Json-Datei lesen. Jedoch erschien bei dieser Lösung auch ein Problem. Falls mit dem neuen Ordner ein Build erstellt und in HoloLens installiert wird, verliert HoloLens all die alten Dateien. In diesem Fall muss der zweite Lösungsversuch wiederholt werden.

7.6.2 Fehler bei den Versionen

Folgende Versionen von Unity und Vuforia habe ich benutzt:

- Unity 2018.2.14f1 (64bit)
- Vuforia 7.5.20

Die folgenden Versionen wurden mit den neuen Version-Updates installiert:

- Unity 2018.2.18f1 (64bit)
- Vuforia 7.5.26

Nach diesem Update habe ich folgende Exceptions erhalten:

- 1- *Exception thrown: 'System.InvalidCastException' in UnityEngine.CoreModule.dll
"AssemblySupportWithHoloLens.exe" (CoreCLR: CoreCLR_UWP_Domain): "C:\Data\Users\DefaultAccount\AppData\Local\DevelopmentFiles\Template3DVS.Release_x86.cagda\System.Diagnostics.StackTrace.dll" geladen. PDB-Datei wurde nicht gefunden oder konnte nicht geöffnet werden. InvalidCastException: Unable to cast object of type 'EulaVersionStrings' to type 'UnityEngine.IUnitySerializable'.
at UnityEngine.Internal.Types.\$UnityType5716.\$Invoke1(Int64 instance, Int64* args)
at UnityEngine.Internal.\$MethodUtility.InvokeMethod(Int64 instance, Int64* args, IntPtr method)
(Filename: <Unknown> Line: 0)*
- 2- *Exception thrown: 'System.ArgumentNullException' in System.Linq.dll
ArgumentNullException: Value cannot be null.
Parameter name: source
at System.Linq.Enumerable.Select[TSource,TResult](IEnumerable`1 source, Func`2 selector)
at Vuforia.PlayModeEditorUtility.NullPlayModeEditorUtility.IsVuforiaActiveAndEULAAccepted()
at Vuforia.PlatformRuntimeInitialization.InitPlatform()
at Vuforia.PlatformRuntimeInitialization.\$Invoke0(Int64 instance, Int64* args)
at UnityEngine.Internal.\$MethodUtility.InvokeMethod(Int64 instance, Int64* args, IntPtr method)
(Filename: <Unknown> Line: 0)*
- 3- *Exception thrown: 'System.InvalidCastException' in UnityEngine.CoreModule.dll
InvalidCastException: Unable to cast object of type 'EulaVersionStrings' to type 'UnityEngine.IUnitySerializable'.
at UnityEngine.Internal.Types.\$UnityType5716.\$Invoke1(Int64 instance, Int64* args)
at UnityEngine.Internal.\$MethodUtility.InvokeMethod(Int64 instance, Int64* args, IntPtr method)
(Filename: <Unknown> Line: 0)*
- 4- *Exception thrown: 'System.ArgumentNullException' in System.Linq.dll
ArgumentNullException: Value cannot be null.
Parameter name: source
at System.Linq.Enumerable.Select[TSource,TResult](IEnumerable`1 source, Func`2 selector)
at Vuforia.PlayModeEditorUtility.NullPlayModeEditorUtility.IsVuforiaActiveAndEULAAccepted()
at Vuforia.VuforiaRuntime.VuforiaInitialization()
at Vuforia.VuforiaRuntime.\$Invoke18(Int64 instance, Int64* args)
at UnityEngine.Internal.\$MethodUtility.InvokeMethod(Int64 instance, Int64* args, IntPtr method)
(Filename: <Unknown> Line: 0)*

Aufgrund dieser Exceptions konnte der Projekt-Ordner nicht auf HoloLens geladen werden. Bei meinen Forschungen¹¹ habe ich gelesen, dass das Problem bei HoloLens sein könnte. Nach der Recovery der HoloLens erschienen die Exceptions jedoch weiterhin.

Meine weiteren Forschungen¹² ergaben, dass das Problem bei der Version 7.5.26 von Vuforia liegt. Danach habe ich das Update gelöscht und wieder die alten Versionen von Unity und Vuforia installiert. Somit konnte das Problem behoben werden.

¹¹ <https://forums.hololens.com/discussion/7361/deployment-error-dep6953>, 15.12.2018

¹² <https://developer.vuforia.com/forum/hololens/cannot-initialize-vuforia-after-7526-upgrade>, 15.12.2018

8 Anwendung der HoloLens-Technologie in Arbeitswelt

Die HoloLens-Technologie kommt heute in vielen Bereichen wie militärische Ausbildung, Forschung, Ingenieurwesen, Industriedesign, Kunst sowie Unterhaltung schon zum Einsatz. Zum Beispiel die NASA, die Nummer 1 im Weltraum, setzt bei ihren Projekten diese Technologie ein. Mit ihren High-Technologie und Augmented Reality ausgestatteten Computern erhält sie eine Live-Ansicht des Weltraums, passt in der virtuellen Welt verschiedene Objekte dieser Ansicht an und schafft sich zusätzliche Informationen sowie Ideen zum geplanten Raketenstart. [15]

Auch weltweit führende Technologieunternehmen wie Boeing, BMW sowie Volkswagen nutzen AR, um Fertigungs- und Montageprozesse deutlich positiver zu gestalten. Sie nutzen mit Augmented Reality die Möglichkeit, das Design und die Funktionsweise der Produkte zu testen, bevor sie mit der Produktion starten. Volkswagen zum Beispiel verwendet AR, um Bilder der Crashtests mit realen Crashes zu vergleichen. Wie schon erwähnt wird AR-Technologie auch bei komplexen Montagearbeiten bereits erfolgreich eingesetzt und vereinfacht die Montageprozesse deutlicher, in dem z.B. ein Techniker mit der HoloLens-Brille den nächsten Montageschritt oder die Bauteile der Maschine in sein Blickfeld visuell einblenden lässt. Dies führt dazu, dass er die Bedienungsanleitung der Maschine von Anfang an besser versteht und die Planung effizienter ist. [16]

Gemäss Ash Eldritch, CEO und Mitbegründer von Vital Enterprises, sind die Bedienungsanleitungen „[...] in der Regel PDF-Dokumente, die mühsam durchgearbeitet werden müssen. Außerdem sind es statische Dokumente und entsprechen damit nicht modernen Standards.“ Er kommentiert weiter: „Wir übertragen diese Instruktionen in Software und machen sie jederzeit in Ihrem Blickfeld sichtbar, freihändig und sprachgesteuert. Wir nehmen also die Arbeitsanweisungen mit den dazugehörigen technischen Zeichnungen und bspw. einem Video der Person, die die Prozedur zuletzt durchgeführt hat, und projizieren das alles auf die AR-Brille. Das bedeutet, dass Sie Ihre Hände an den Arbeitsgängen behalten können und den Montageort nicht verlassen müssen, um etwas zu überprüfen.“¹³

Ebenfalls in anderen Bereichen der Fertigung, wie z.B. Instandhaltung, kommt die Augmented Reality-Technologie bereits zum Einsatz. Der Aufzughersteller thyssenkrupp setzt die HoloLens-Technologie ein, um seine Wartungsarbeiten effizienter zu gestalten.



Abbildung 76 HoloLens-Technologie – thyssenkrupp [17]

Die HoloLens-Brille wird dabei in Feldoperationen verwendet, „[...] damit Servicetechniker Reparaturaufgaben bereits vor dem Auftrag visualisieren und identifizieren können, und ferngesteuerten, berührungslosen Zugang zu technischen und fachlichen Informationen vor Ort erhalten. Feldversuche haben gezeigt, dass Wartungsarbeiten mit der Microsoft HoloLens bis zu viermal schneller durchgeführt werden können.“¹⁴ Somit können auch Mitarbeiter ohne entsprechendes Knowhow über die Maschinen die Wartungsarbeiten durchführen.

¹³ <https://www.engineering.com/deutsch/fertigung/was-kann-augmented-reality-in-der-fertigung-leisten/>, 25.12.2018

¹⁴ <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemeldungen/press-release-129248.html>, 25.12.2018

9 Entwicklungsumgebung

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Plattformen, Softwares und Add-Ins verwendet wurden.

9.1 Unity

Unity3D ist eine in Russland entwickelte Spiel-Engine, mit der zwei sowie drei dimensionale Spiele und Simulationen erstellt werden können. Unity ist in meiner Arbeit die Hauptapplikation, welche ich benutzt habe. Diese kann für HoloLens-Unity angewendet werden, um Skripte, Animationen sowie Applikationen zu erstellen und diese auf HoloLens hochzuladen.

Version: **Unity 2018.2.14f1(64bit)**

9.2 MixedRealityToolkit-Unity

Um mit HoloLens und Unity einfach zu arbeiten, bietet uns Microsoft das MixedRealityToolkit-Unity an. Dieses Toolkit ist wie eine Bibliothek von Skripten, welche dem Anfänger den Start in die Entwicklung der Anwendungen vereinfacht.

Version: **HoloToolkit-Unity-v1.2017.4.2.0.unitypackage**

9.3 Vuforia

Vuforia ist ein Add-In, mit dem problemlos Augmented Reality-Anwendungen in Unity benutzt werden können. Die neueste Version kann auf der Firmen-Webseite kostenlos heruntergeladen werden. Die Installation ist jedoch während der Unity-Installation (ab Version 2017) auch möglich. Es bedingt jedoch eine Mitgliedschaft und es werden nur 5 API-Schlüssel zur Verfügung gestellt.

Version: **Vuforia 7.5.20**

9.4 Visual Studio

Das Visual Studio von Microsoft ist eine Entwicklungsumgebung für verschiedene Hochsprachen. Sie wurde konfiguriert, um C# zu benutzen. Mit dieser wurden in Unity die C# Skripten erstellt und bearbeitet.

Version: **Visual Studio 2017 Version 15.9.4**

9.5 Installationsanleitung

Nachdem all die oben genannten Dateien heruntergeladen wurden und zur Ausführung bereit sind, müssen noch die letzten Installationen sowie die Konfiguration abgeschlossen werden.

1. Für Windows 10 Entwicklermodus aktivieren.

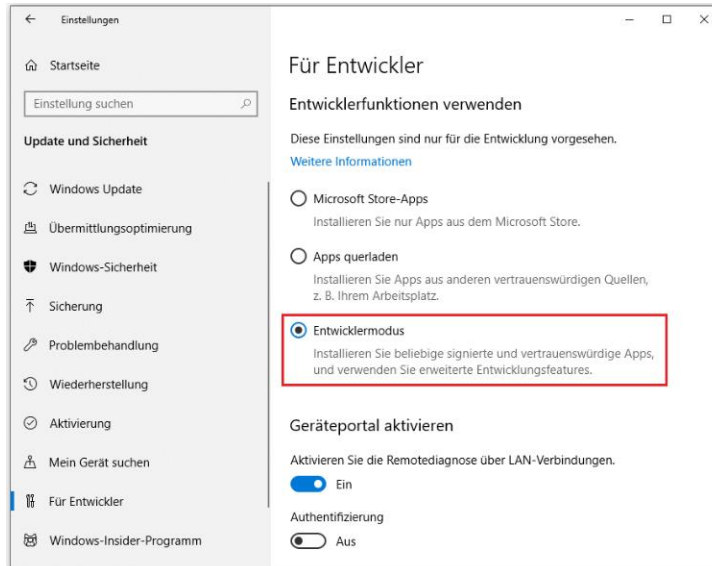


Abbildung 77 Entwicklermodus in Windows 10 aktivieren

2. Installation von Unity

3. Installation von Vuforia und Verwendung (siehe Kapitel 4 Vuforia)

4. Installation von Microsoft Visual Studio

a. Die folgenden Komponenten müssen dabei installiert werden:

.NET

- ☒ .NET Core runtime
- ☒ .NET Framework 3.5 development tools
- ☒ .NET Framework 4 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.5 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.5.1 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.5.2 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.6 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.6.1 SDK
- ☒ .NET Framework 4.6.1 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.6.2 SDK
- ☒ .NET Framework 4.6.2 targeting pack
- ☒ .NET Framework 4.7 SDK
- ☒ .NET Framework 4.7 targeting pack
- ☒ .NET Native
- ☒ .NET Portable Library targeting pack
- ☒ Unity 5.6 Editor
- ☐ Unreal Engine installer
- ☒ Visual Studio Tools for Unity
- ☒ Windows 10 SDK (10.0.10240.0)
- ☒ Windows 10 SDK (10.0.10586.0)
- ☒ Windows 10 SDK (10.0.14393.0)
- ☒ Windows 10 SDK (10.0.15063.0) for Desktop C++ x86 and x64
- ☒ Windows 10 SDK (10.0.15063.0) for UWP: C#, VB, JS
- ☒ Windows 10 SDK (10.0.15063.0) for UWP: C++

Abbildung 78 Im Visual Studio aktivierte Komponenten

5. Vom GitHub die Applikationsdaten klonen.
https://github.com/cakic1/BachelorArbeit_AssemblySupportwithHoloLens.git
6. Unity Ordner finden und in Unity als Projekt öffnen.
 - a. Den Ordner „AssemblySupportWithHoloLens“ auswählen.
7. Geöffnetes Projekt in Unity builden (siehe Kapitel 5 Unity)
8. Mit Visual Studio die .sln Datei (AssemblySupportWithHoloLens.sln) starten, die im gebuildeten Ordner ist.
9. Applikation auf HoloLens bereitstellen.
 - a. Projektmappenkonfigurationen: Release
 - b. Projektmappenplattformen: x86
 - c. Zielgerät: Remotecomputer (hier muss die IP Adresse von der HoloLens eingegeben werden)



Abbildung 79 Debugging-Einstellung

- d. Debuggen → Starten ohne Debugging
10. Nachher wird die Applikation auf HoloLens hochgeladen und gestartet.

10 Fazit und Ausblick

Mit einer Applikation, die ich während dieser Arbeit entwickelt habe, ist es möglich, unter Verwendung der HoloLens-Technologie die komplexen Montagearbeiten zu vereinfachen sowie zu optimieren. Mit der HoloLens-Brille können die virtuellen Teile 360° gedreht und von allen Perspektiven observiert werden. Mithilfe der Animationen ist es ersichtlich, wie, wohin, in welcher Reihenfolge und in welcher Position diese Teile montiert werden müssen. Es ist viel effizienter und verständlicher als eine Montageanleitung wie z.B. im Papierformat.

Das Wichtigste dabei ist, dass alle Anweisungen mit Sprachbefehlen funktionieren, d. h. der Monteur kann bei der Arbeit seine Hände frei benutzen. Wenn er beispielsweise den Sprachbefehl „Next“ verwendet, sieht er wohin das virtuelle Teil hingehört. Somit kann er in der realen Welt das reale Teil am richtigen Ort positionieren.

Damit der Benutzer weiss, in welchem Kästchen sich das nächst zu montierende Teil befindet, zeigt ihm HoloLens mit grünen Pfeilen das richtige Kästchen an. Der Benutzer erkennt somit, woher er das Montageteil für den nächsten Schritt nehmen muss.

Mit der HoloLens-Brille ist es auch möglich sich im Raum frei zu bewegen und somit die Maschine mit ihren Bauteilen von allen Perspektiven zu sehen.

All diese Funktionen führen zu einer kürzeren Montagezeit sowie zu weniger Fehlern.

Das Resultat des Projektes ist, dass die HoloLens-Technologie endlose Lösungen im Montagebereich bietet. Natürlich ist die Bild- und Objekterkennung von Vuforia auch sehr wichtig.

Jedoch gibt es auch Probleme, die durch HoloLens-Technologie verursacht werden und daher ausgebaut werden müssen. Wenn sich die virtuellen Objekte beispielsweise in den Koordinaten der realen Welt befinden, kommt es zum Flimmern und manchmal zu kleinen Verschiebungen. Die maximale Nutzdauer der HoloLens-Brille beträgt zwei Stunden. Bei einer längeren Montagedauer würde dies zu einem Problem führen. Ebenfalls handelt es sich bei der HoloLens-Brille um ein empfindliches Gerät (bzw. Computer). Bei der Montage muss deshalb sehr sorgfältig vorgegangen werden.

Es ist Tatsache, dass verschiedene Technologieunternehmen bei ihren Montagearbeiten die HoloLens-Brille schon verwenden und von den Vorteilen enorm profitieren:

- Steigende Arbeitseffizienz
- Reduzierung des Arbeitsaufwands
- Hohe Zeitersparnis
- Reduzierung der Fehlerquoten
- Vereinfachung und Optimierung der Arbeitsprozesse
- Steigerung der Arbeitsqualität

Die Augmented Reality-Technologie wird in Zukunft eine mobile Computerplattform sein, die nahezu in allen Bereichen zum Einsatz kommen wird. Vor allem in der Fertigung wird die Verwendung der HoloLens-Technologie zunehmend an Bedeutung gewinnen. Laut den Umfragen werden die weltweiten Ausgaben von Augmented Reality für 2021 auf 215 Milliarden US-Dollar geschätzt. (Quelle: eMarketer Virtual & Augmented Reality Ausgaben weltweit, 2017 & 2021)

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Maschinenmontage	5
Abbildung 2 Realitäts-Virtualitäts Kontinuum	7
Abbildung 3 Google Glass	8
Abbildung 4 HoloLens-Brille	8
Abbildung 5 Microsoft HoloLens	9
Abbildung 6 HoloLens mit Zubehör	9
Abbildung 7 HoloLens-Display-Diagramm	10
Abbildung 8: Die von HoloLens angezeigten virtuellen 3D-Objekte sind keine Hologramme (sie sehen nur wie Hologramme aus!). Die Linsen bzw. der Umlenkung in diesen wird mit Hologrammen gemacht.	10
Abbildung 9 Sensoren der HoloLens	11
Abbildung 10 Logo Unity	13
Abbildung 11 Unity Editor Panels	13
Abbildung 12 UnityDownloadAssistan Version 5.6.1f1	14
Abbildung 13 Vuforia Unitypackage Version 6.2.10	14
Abbildung 14 Komponentenauswahl Vuforia	14
Abbildung 15 Auswahl AR-Camera in Vuforia	14
Abbildung 16 Import Vuforia-Komponente für AR-Camera	15
Abbildung 17 Auswahl Einstellung Player	15
Abbildung 18 Auswahl <i>Vuforia Augmented Reality Supported</i>	16
Abbildung 19 Kopieren Lizenzschlüssel in Unity	16
Abbildung 20 HoloToolKit	17
Abbildung 21 Toolbar	17
Abbildung 22 Auswahl Konfigurationen	17
Abbildung 23 Mixed Reality Project Settings	17
Abbildung 24 Mixed Reality Scene Settings	18
Abbildung 25 UWP (Universal Windows Project) Capability Settings	18
Abbildung 26 Build Settings	19
Abbildung 27 Logo vuforia	20
Abbildung 28 AR Anwendung mit dem Handy	20
Abbildung 29 AR Anwendung mit dem Tablet	20
Abbildung 30 Flussdiagramm des Vuforia SDK´s	21
Abbildung 31 Überlagerung der virtuellen Teile auf Maschine	22
Abbildung 32 Entwicklungsumgebung (Vuforia und Unity)	22
Abbildung 33 Vuforia Development Portal	23
Abbildung 34 Neuen Account kreieren	23
Abbildung 35 Downloads - SDK	24
Abbildung 36 Downloads - Samples	25
Abbildung 37 Downloads - Tools	26
Abbildung 38 Logo Vuforia Object Scanner	27
Abbildung 39 Startseite Vuforia Object Scanner	27
Abbildung 40 Marker-Scanning	28
Abbildung 41 Marker von Vuforia Object Scanner	28
Abbildung 42 Koordinatensystem Vuforia Object Scanner	28
Abbildung 43 Objektplatzierung im Raster	29

Abbildung 44 Merkmalspunkte mit Coverage	29
Abbildung 45 Merkmalspunkte ohne Coverage.....	29
Abbildung 46 Develop – License Manager.....	30
Abbildung 47 Kostenloser Lizenzschlüssel erstellen	31
Abbildung 48 Erstellter Lizenzschlüssel - Beispiel.....	31
Abbildung 49 License Key	32
Abbildung 50 License Key Usage	32
Abbildung 51 Target Manager - Datenbanken	33
Abbildung 52 Datenbank kreieren	33
Abbildung 53 Inhalt Datenbank - Liste der Targets.....	34
Abbildung 54 Download Database.....	36
Abbildung 55 Single Image - Funktionen	36
Abbildung 56 Object – Funktionen	37
Abbildung 57 Cuboid - Funktionen.....	37
Abbildung 58 Cylinder - Funktionen.....	37
Abbildung 59 Reihenklemme-1	38
Abbildung 60 Reihenklemme-2	38
Abbildung 61 Montierte Reihenklemmen-1	38
Abbildung 62 Montierte Reihenklemmen-2.....	38
Abbildung 63 Graue Durchgangsklemme	39
Abbildung 64 Blaue Durchgangsklemme	39
Abbildung 65 Rote Steckenbrücke.....	39
Abbildung 66 Leitungsschutzschalter	39
Abbildung 67 Trageschiene.....	39
Abbildung 68 Struktur Json-Datei	41
Abbildung 69 Prefabs in Unity	42
Abbildung 70 Marker für das Modell	43
Abbildung 71 Marker für die blaue Durchgangsklemme	44
Abbildung 72 Marker für die rote Steckenbrücke.....	44
Abbildung 73 Marker für die graue Durchgangsklemme	44
Abbildung 74 Marker für den Leitungsschutzschalter	44
Abbildung 75 Virtueller grüner Pfeil	44
Abbildung 76 HoloLens-Technologie – thyssenkrupp [17]	47
Abbildung 77 Entwicklermodus in Windows 10 aktivieren	49
Abbildung 78 Im Visual Studio aktivierte Komponenten.....	50
Abbildung 79 Debugging-Einstellung	50

12Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Technische Daten der HoloLens	12
Tabelle 2 Target-Typen	35
Tabelle 3 Beschreibung der Sprachbefehle	45

13 Literaturverzeichnis

[1] Mit Unity3D Augmented Reality(AR)-Anwendung Entwicklung

Arman Kara, 01.05.2017, URL: <https://medium.com/bili%C5%9Fim-hareketi/unity3d-i-CC%87le-augmented-reality-ar-uygulama-geli%C5%9Firmek-be1640d56a2>

[2] Augmented Reality Based Mobile Learning System Design in Preschool Education

Muhammet Baykara, Ugur Gürtürk, Bedirhan Atasoy, Ibrahim Percin,
URL: <http://web.firat.edu.tr/mbaykara/ubmk1.pdf>

[3] VR, AR, MR and what does immersion actually mean?

Nikolai Bockholt, 05.2017, URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/en-154/insights-inspiration/industry-perspectives/vr-ar-mr-and-what-does-immersion-actually-mean/>

[4] What is mixed reality?

21.03.2018, URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed-reality>

[5] Was ist Google Glass? Was macht es?

Murat Paksoy, 20.02.2013, URL: <https://www.teknolojioku.com/donanim/google-glass-nedir-ne-ise-varar-5a28f49b18e540630d1d1ef8>

[6] Was ist Google Glass

Teknoloji Manya, 01.03.2013, URL: <http://teknolojimanya.blogspot.com/2013/03/google-glass-nedir.html>

[7] Was ist die HoloLens

Furkan Gümüş, 02.05.2016, URL: <https://www.muhendisbeyinler.net/hololens-nedir/>

[8] Calibration

21.03.2018, URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/calibration>

[9] INSIDE MICROSOFT'S HOLOLENS

Tom Warren, 06.04.2016, URL: <https://www.theverge.com/2016/4/6/11376442/microsoft-hololens-holograms-parts-teardown-photos-hands-on>

[10] Was ist Unity

12.07.2016, URL: <https://www.kolaydata.com/unity-nedir-3418.html>

[11] Vuforia – Image Targets

URL: <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Training/Image-Target-Guide.html#img-target-params>

[12] Using Vuforia with Unity

21.03.2018, URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/vuforia-development-overview>

[13] Vuforia Augmented Reality SDK

26.12.2018, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia_Augmented_Reality_SDK

[14] Vuforia - Developing Vuforia Apps for HoloLens

URL: <https://library.vuforia.com/articles/Training/Developing-Vuforia-Apps-for-HoloLens>

[15] Was ist die Augmented Reality (AR) -Technologie?

URL: <https://geekgamernews.com/artirilmis-gerceklik-ar-teknolojisi-nedir/>

[16] Was ist AR?

Fatih Özsoy, 24.10.2018, URL: <https://egezegem.com/teknoloji/ar-nedir-artirilmis-gerceklik-augmented-reality/>

[17] Thyssenkrupp treibt Digitalisierung des weltweiten Aufzugsservice weiter voran: Microsoft HoloLens verringert Wartungszeit:

Thyssenkrupp Elevator AG, 15.09.2016, URL: <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/presse-meldungen/press-release-114208.html>



Erklärung der Diplomandinnen und Diplomanden *Déclaration des diplômé-e-s*

Selbständige Arbeit / *Travail autonome*

Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich meine vorliegende Bachelor-Thesis selbständig durchgeführt habe. Alle Informationsquellen (Fachliteratur, Besprechungen mit Fachleuten, usw.) und anderen Hilfsmittel, die wesentlich zu meiner Arbeit beigetragen haben, sind in meinem Arbeitsbericht im Anhang vollständig aufgeführt. Sämtliche Inhalte, die nicht von mir stammen, sind mit dem genauen Hinweis auf ihre Quelle gekennzeichnet.

Par ma signature, je confirme avoir effectué ma présente thèse de bachelor de manière autonome. Toutes les sources d'information (littérature spécialisée, discussions avec spécialistes etc.) et autres ressources qui m'ont fortement aidée dans mon travail sont intégralement mentionnées dans l'annexe de ma thèse. Tous les contenus non rédigés par mes soins sont dûment référencés avec indication précise de leur provenance.

Name/*Nom*, Vorname/*Prénom*

Cakir Cagdas

Datum/*Date*

.....

Unterschrift/*Signature*

.....

Dieses Formular ist dem Bericht zur Bachelor-Thesis beizulegen.
Ce formulaire doit être joint au rapport de la thèse de bachelor