

# Projektbericht Teaching3D

**Autoren:** Prof. Dr. Uwe Hahne, Prof. Christoph Müller

Datum: 09. November 2024

## 1. Zusammenfassung

Das Teaching3D-Projekt zielte darauf ab, 3D-Technologien in die Lehre zu integrieren, um die Darstellung komplexer, räumlicher Inhalte zu verbessern. Besonders der Einsatz von Time-of-Flight-Kameras zur 3D-Erfassung von Lehrpersonen stand im Fokus. Diese Technologie ermöglicht es, Lehrende in Echtzeit zu erfassen und virtuelle 3D-Modelle zu erstellen. Damit können sowohl Augmented Reality (AR) Inhalte zur Visualisierung schwieriger Konzepte eingesetzt als auch hybride Lehrformate geschaffen werden, bei denen Lehrende virtuell an beliebigen Orten erscheinen können.

Das Projekt führte zu bedeutenden Fortschritten, einschließlich der Entwicklung von Software-Frameworks zur Integration von Azure Kinect-Daten in AR-Anwendungen und der Erforschung aktueller 3D-Technologien wie Neural Radiance Fields (NeRF). Herausforderungen wie der hohe Rechenaufwand und die Abhängigkeit von spezialisierten GPU-Hardware wurden ebenfalls identifiziert.

## 2. Projektziele

Das übergreifende Hauptziel des Projekts war die Integration von 3D-Technologien in die Lehre, um den Lernprozess durch räumliche Darstellungen zu verbessern. In vielen Bildungs- und Schulungsbereichen werden komplexe, dreidimensionale Inhalte vermittelt, während zur Darstellung oft auf zweidimensionale Medien wie Tafeln, Flipcharts oder Monitore zurückgegriffen werden muss. Dies stellt hohe Anforderungen sowohl an das räumliche Vorstellungsvermögen der Lernenden als auch an das motorische Geschick der Lehrenden.

Im Projekt wurde erforscht, wie moderne 3D-Technologien, insbesondere Time-Of-Flight Kameras, genutzt werden können, um Lehrende dreidimensional zu erfassen und ein 3D-Modell zu erzeugen. Dies ermöglicht zwei wesentliche Erweiterungen:

1. Die Einblendung von 3D-Visualisierungen, die physikalische Einschränkungen überwinden und komplexe Lerninhalte anschaulicher darstellen.
2. Die virtuelle Präsenz von Lehrenden an beliebigen Orten mittels 3D-Modelle und AR-Technologien, die eine hybride Lehrform mit erhöhter Plastizität und Greifbarkeit schaffen.

Drei zentrale Aspekte sollten im Projekt untersucht und weiterentwickelt werden:

1. Vereinfachte 3D-Erfassung von Personen in Echtzeit mithilfe von 3D-Kameras, um diese Technologie in regulären Lehrräumen ohne spezielle Ausrüstung einsetzbar zu machen.
2. Erweiterung der Realität durch semi-automatische 3D-Objekterzeugung basierend auf Gesten und die Visualisierung dieser Inhalte durch Mixed Reality Headsets, Smartphones, Tablets oder holografische Displays.
3. Entwicklung von Verfahren zur Übertragung und Speicherung der Lehrveranstaltungen mit 3D-Erweiterungen in Echtzeit, um hybride Lehrformate unabhängig vom Standort der Lehrenden und Lernenden zu ermöglichen.

## 3. Plan und Umsetzung

### 3.1. Ursprüngliche Planung

Um die angestrebten Ziele zu erreichen wurde der folgende Arbeitsplan erarbeitet und im Antrag vorgestellt:

- Schritt 1a: Evaluation der AR Entwicklungswerkzeuge und Beschaffung der AR Hardware.
- Schritt 1b: Aufbau einer Aufnahmeeinheit zur Erfassung eines Lehrvortrags in 3D mit Hilfe vorhandener 3D Kameras (Microsoft Azure Kinect).
- Schritt 2: Design und Implementierung eines Software-Frameworks zur Integration der Kinect-Aufnahmen in AR Applikationen.
- Schritt 3: Entwicklung einer Demo-Applikation auf Basis der aufgenommenen Daten.

### 3.2. Umsetzung

#### 3.2.1. Beschaffung der AR Hardware.

Früh im Verlauf des Projekts, wurden zwei Laptop-Rechner zur Entwicklung angeschafft. Zum Einen ein Lenovo Legion Gaming Laptop mit der neuesten Generation der NVIDIA Grafikkarten. Im Verlauf des Projekts zeigte sich, dass diese Grafikkarte der Schlüssel für eine erfolgreich Entwicklungsarbeit ist. Fast alle aktuellen Forschungsarbeiten erzeugen Programmcodes die nur mit Hilfe der CUDA Bibliothek<sup>1</sup> zu praktikablen Anwendungen führen. Es herrscht eine sehr große Dominanz und Abhängigkeit von CUDA und dementsprechend von NVIDIA Hardware, da CUDA nur auf diesen Geräten läuft [Wikipedia 2024].

Zum Anderen ein MacBook Pro und ein iPad Pro zur Entwicklung für Apple Geräte. Im iPad Pro ist ein LIDAR Sensor verbaut, der ein Tiefenbild aufnimmt. Also ein digitales Bild, bei dem für jeden Pixel der Abstand zum aufgenommenen Gegenstand gemessen wird und nicht dessen Farbe. Die Messung basiert, wie auch bei den zur Verfügung stehenden Azure Kinect Kameras auf dem Lichtlaufzeitprinzip.

#### 3.2.2. Recherche zum aktuellen Stand der Technik

Schon im Antrag wurde Neural Rendering als Trend [Tewari u. a. 2022] identifiziert. Im Laufe des Projekts stellte sich heraus, dass insbesondere die Arbeit *NeRF: Representing scenes as neural radiance field* [Mildenhall u. a. 2020] zu einer Explosion an weiteren Arbeiten im Bereich der 3D Rekonstruktion führte. Die visuellen Ergebnisse von NeRF sind so beeindruckend, dass klassische Verfahren wie Photogrammetrie oder Image-based rendering hinterfragt wurden. Auch im Rahmen des Projekts haben wir uns daher intensiver mit dem Thema NeRF auseinander gesetzt.

Der Charme an NeRF ist, dass es keine explizite und somit diskrete Darstellung der 3D Szene beinhaltet, sondern eine implizite, kontinuierliche Repräsentation ist, die dadurch ganz neue Möglichkeiten ermöglicht. Gleichzeitig sind aber auch alle etablierten Tools zur Bearbeitung und Renderingverfahren nicht eins zu eins anwendbar. Dies führte in der wissenschaftlichen Community zu einem Hype und zahlreichen Weiterentwicklungen. Zum Einen wurde 2022 bei NVIDIA *Instant-NGP* [Müller u. a. 2022] entwickelt was das Erzeugen (Training) von NeRFs auf erschwinglicher NVIDIA Hardware ermöglicht.

Im Rahmen des Projekts reiste Prof. Hahne gemeinsam mit zwei Studierenden zur Eurographics Konferenz nach Saarbrücken. Das Highlight war die Keynote von Ben Mildenhall, einer

---

<sup>1</sup><https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>

der ersten Autoren des NeRF Papers. Er konnte eindrücklich Hintergründe zum Hype um NeRF darlegen und inspirierte mit zahlreichen Beispielen NeRFs in verschiedenen Anwendungen einzusetzen.

Im Rahmen bzw. im Kontext dieses Projekts sind daher zwei Abschlussarbeiten ausgeschrieben worden, die sich mit der Anwendung von NeRFs in der Praxis beschäftigen. Sie stehen nur im Kontext des Projekts, da sich die Anwendung nicht auf die Lehre konzentriert.

Sabine Schleise hat den industriellen Einsatz von NeRFs genauer untersucht [Schleise 2023]. In ihrer Arbeit kommt sie zu dem Schuss, dass NeRFs eine vielversprechende Lösung für den Einsatz im Bereich des *Industrial Metaverse* sind. Es geht also um das Erzeugen und kollaborative Arbeiten an digitalen Zwillingen. Dafür sind möglichst genaue 3D Rekonstruktionen von industriellen Anlagen und Maschinen notwendig. Im Rahmen der Arbeit bei der SICK AG entstand eine Software Pipeline, die es Laien ermöglicht NeRF Modelle zu trainieren und zu visualisieren. Die Arbeit wurde zwischenzeitlich auf der WSCG in Plzen vorgestellt und publiziert [Schleise u. a. 2024].

Moreli Paredes Gonzales hat 3D Modelle der Wasserspeier des Freiburger Münsters erzeugt und dabei wertvolle, praktische Erfahrungen in der Verwendung von NeRFs als Zwischenlösung gesammelt [Gonzalez 2023].

### 3.2.3. Evaluation der AR Entwicklungswerkzeuge

Als nächstes sollten studentische bzw. wissenschaftliche Hilfskräfte eingestellt werden, um die aktuell verfügbaren Entwicklungswerkzeuge zu evaluieren. Leider erwies es sich als schwierig geeignete Studierende für diese Evaluation zu finden. Erst ab September 2023 wurde Nic Rubner eingestellt mit dem Auftrag die Evaluation durchzuführen. Im Wesentlichen ging es darum die Entwicklungsarbeit mit Niantic Lightship ARDK<sup>2</sup>, Apple ARKit<sup>3</sup> und / oder Google ARCore<sup>4</sup> jeweils auch im Zusammenspiel mit Unity3D<sup>5</sup> und dessen Erweiterung für Augmented Reality Anwendungen AR Foundation<sup>6</sup> zu bewerten. Sie führte zu den folgenden Erkenntnissen.

Das Aufsetzen von ARCore und ARKit gestaltete sich relativ unkompliziert, da beide als einfache Unity-Erweiterungen oder Imports, wie im Fall von ARKit in Xcode, integriert werden konnten. Beim Erstellen erster Applikationen zeigte sich jedoch, dass der Entwicklungsaufwand mit Niantic ARDK im Vergleich zu ARFoundation, ARCore und ARKit geringer war.

Die am besten funktionierende und visuell überzeugendste Anwendung wurde ebenfalls mit dem Niantic ARDK entwickelt. Hier wurde die Umgebung zuverlässiger erkannt und gerendert. Dadurch funktionierten auch die Interaktionen mit der Umgebung zuverlässiger. In Bereichen wie Motion Tracking und der Verwendung von Ankern - also dem Setzen von Bezugspunkten zwischen virtueller und echter Welt - schnitten alle Frameworks ähnlich gut ab.

Ein weiterer Vorteil des Niantic ARDK besteht in der plattformübergreifenden Kompatibilität, da es direkt sowohl für Android als auch für iOS ausgelegt ist. Im Gegensatz dazu sind ARKit und ARCore primär für ihre jeweiligen Plattformen optimiert. Allerdings ist das Niantic

---

<sup>2</sup><https://lightship.dev/products/ardk/?hl=en>

<sup>3</sup><https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>

<sup>4</sup><https://developers.google.com/ar>

<sup>5</sup><https://unity.com/de/products/unity-engine>

<sup>6</sup><https://unity.com/de/solutions/xr/ar>

ARDK in seinen Funktionen etwas eingeschränkter, da es sich hauptsächlich auf ortsbasierte AR-Apps spezialisiert. Beispielsweise ist Face-Tracking mit ARDK nicht möglich.

Zwischen ARKit und ARCore gab es keine großen Unterschiede. Dank AR Foundation konnte eine Anwendung problemlos sowohl für Android als auch iOS erstellt werden. Dennoch funktionierte die ARKit-Anwendung, die über Xcode gebaut wurde, etwas besser als die Version, die in Unity erstellt wurde.

Allerdings zeigte die Evaluation, dass der Einarbeitungsaufwand für alle Entwicklungsumgebungen sehr hoch ist und es daher für Studierende eine große Herausforderung ist, im Rahmen einer Bachelorarbeit eine funktionierende 3D AR Applikation zu entwickeln.

### 3.2.4. Implementierung eines Tools zur Datenaufnahme

Im August 2023 konnte Lukas Willmann als wissenschaftliche Hilfskraft weitere Tools evaluieren und die Implementierung eines Tools zur Datenaufnahme und Integration in Unity beginnen. Zunächst wurde versucht, volumetrische Videos mithilfe des OpenUSD Projekts<sup>7</sup> zu verarbeiten, jedoch traten technische Probleme mit der Python-Installation auf, was zu Verzögerungen führte. Vergleichbare Ansätze wie Nvidia Omniverse<sup>8</sup> und .obj-Dateien wurden erwogen, aber nicht weiterverfolgt. Der Schwerpunkt verlagerte sich auf die Arbeit mit der Azure Kinect, bei der Punktwolken der Kameradaten in Unity verarbeitet wurden. Ein C#-Wrapper für bestimmte Kinect-Funktionen wurde erstellt, um .mkv-Dateien in Unity einzubinden, jedoch stellte sich dies als ineffizient heraus. Auch der Einsatz von Unreal und Blender war aufgrund technischer Hürden nicht zielführend.

Letztendlich wurde Open3D<sup>9</sup> verwendet, um Kinect-Daten live als Punktwolken darzustellen. Dazu wurde versucht, die Kameras mithilfe eines Schachbrettmusters zu kalibrieren und eine Pipeline für Multiplayer-Anwendungen zu entwickeln. Weitere Ansätze wie die Nutzung von OpenUSD und Volumetric Capture wurden ebenfalls getestet, jedoch aufgrund von Hardware-Limitierungen vorerst zurückgestellt. Diese Versuche und die daraus gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für den Start des Master-Forschungsprojekts, welches im Folgenden beschrieben wird.

### 3.2.5. Master-Forschungsprojekt Free3D

Die Schritte 1b bis 3 wurden im Rahmen des Master-Forschungsprojekts **Free3D** in den Studiengängen Medieninformatik und Design Interaktiver Medien ab dem Wintersemester 2023/24 umgesetzt. Aus den Recherchen und oben erwähnten HiWi- und Masterarbeiten entstand der Entschluss sich auf NeRFs als Basistechnologie zu konzentrieren und das Projekt in diese Richtung zu treiben. Unterstützt wurde diese Idee durch viele Diskussionen mit Forschenden die Prof. Hahne in Paris auf der International Conference on Computer Vision<sup>10</sup> im Oktober 2023 führen konnte. Gleichzeitig wurde aber auch klar, dass es mit 3D Gaussian Splatting [Kerbl u. a. 2023] schon wieder eine neue Methodik gab, die man in der weiteren Projektarbeit unbedingt auch untersuchen muss.

Ziel des Masterprojekts war zum Einen der Aufbau einer Aufnahmeeinheit zur Erfassung einer Person in 3D mit Hilfe vorhandener 3D Kameras (Microsoft Azure Kinect). Dabei sollte der Aufbau einfach und kostengünstig sein, so dass einem späteren praktischen Einsatz in der

<sup>7</sup><https://openusd.org/release/index.html>

<sup>8</sup><https://www.nvidia.com/de-de/omniverse/>

<sup>9</sup><https://www.open3d.org/>

<sup>10</sup><https://iccv2023.thecvf.com/>

Lehre nichts im Wege stehen sollte. Aufbauend auf den Ergebnissen von Lukas Willmann, die in Abschnitt 3.2.4 beschrieben wurden, gehörte das Design und die Implementierung eines Software-Frameworks zur Integration der Kinect-Aufnahmen zu den Projektzielen.

Im Laufe des Projekts wurde schnell deutlich, dass die Komplexität und Rechenanforderungen des Systems einen Einsatz in einer AR Umgebung erschweren. Daher wurde sich auf eine Lösung konzentriert, die zwar nicht echtzeitfähig ist, aber dennoch in kurzer Zeit verwendbar und einsatzfähig ist. Diese Ziel wurde erreicht und es kam auf der Werkschau Digitale Medien im Juli 2024 erfolgreich zum Einsatz. Besucher der Werkschau konnten ein kurzes 3D Video von sich selbst aufnehmen lassen. Daraus wurde ein 3D Modell generiert und in eine von vier zur Auswahl stehenden virtuellen Umgebungen eingesetzt. Daraus wurde dann ein Video gerendert, welches sich die Besucher nach der Werkschau herunterladen konnten. Die größte zeitliche Verzögerung entstand durch die Überlastung des lokalen WLAN-Netzes im I-Gebäude aufgrund der hohen Besucherzahl. Ansonsten hätten die Videos schon ca. 15 Minuten nach Aufnahme zum Download zur Verfügung gestanden. Eine ausführliche Dokumentation des Projekts findet sich auf der Projektwebseite<sup>11</sup>.

Die weiteren Ergebnisse des Forschungsprojekts sind auf der Webseite gesammelt und dargestellt. Sie wurden auch erfolgreich als Extended Abstract zum European Machine Vision Forum 2024<sup>12</sup> in Mulhouse eingereicht. Dort wurden Sie am 7. November 2024 präsentiert und es gab eine Reihe positiver Rückmeldungen. Die Themen NeRF und 3D Gaussian Splatting waren teils noch unbekannt. Es haben sich einige Möglichkeiten der Kooperation aufgetan.

## 4. Ergebnisse und Fazit

### 4.1. Related Work

Im Laufe der Recherche zum Projekt wurde das vom BMBF geförderte Projekt **Voluprof**<sup>13</sup> gefunden. Die Beschreibung und Ziele entsprechen ziemlich genau dem dieses Tandem Projekts. Das Projekt ist in diesem Jahr ausgelaufen und die Arbeiten werden im Rahmen des EU Projekts LUMINOUS<sup>14</sup> fortgeführt. Es fand ein kurzer Austausch mit Prof. Peter Eisert statt, den Prof. Hahne noch aus seiner Zeit in Berlin persönlich kennt. Eine Kooperation bei weiteren Ideen und Entwicklungen ist denkbar.

### 4.2. Erkenntnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse des Projekts sind:

#### 4.2.1. Transfer in die Lehre

Die Arbeit mit den Studierenden an Themen wie Kamerakalibration und Einbettung in virtuelle Umgebungen mit Spiele Engines wie Unity wurde erfolgreich gelöst und hier steckt auch Potenzial für weitere Lehrprojekte. Die teilnehmenden Studierenden warnen ge- aber nicht überfordert mit der Thematik und zeigten sich sehr interessiert auch tiefer in die Forschung einzusteigen.

#### 4.2.2. Aktuelle Forschungstrends

NeRF und 3D Gaussian Splatting sind aktuelle heiße Forschungsthemen. Im Schnitt wurden die beiden ursprünglichen Arbeiten NeRF [Mildenhall, Srinivasan, Tancik, Barron, Ramamoorthy]

<sup>11</sup><https://hfu-dm-free3d.github.io/free3d.github.io/>

<sup>12</sup><https://emvf-2024.emva.b2match.io/>

<sup>13</sup><https://www.3it-berlin.de/voluprof/>

<sup>14</sup><https://luminous-horizon.eu/>

thi, und Ng 2020] und 3D Gaussian Splatting [Kerbl, Kopanas, Leimkuehler, und Drettakis 2023] laut Google Scholar *jeden Monat* seit Erscheinen jeweils weit über 100 mal zitiert. Um bei dieser extremen Dynamik den Überblick zu behalten empfiehlt es sich über Aggregatoren wie Michael Rubloff und Janusch Patas, die über den Blog *Radiance Fields*<sup>15</sup>, Discord Server, LinkedIn und den View Dependent Podcast<sup>16</sup> aktuelle und neue Entwicklungen teilen.

#### 4.2.3. Ressourcenbedarf

Der Rechenaufwand der 3D Rekonstruktion aus Bildern ist auch mit den neuen Methoden sehr groß. Insbesondere zeigte sich dies bei der Reproduktion von Forschungsarbeiten anderer Einrichtungen. Wenn bei der Publikation entweder Meta, NVIDIA oder Google involviert ist, kann man davon ausgehen, dass die enorme Rechenleistung dieser Unternehmen zum Einsatz kam. Aus Gesprächen bei der besuchten Eurographics Konferenz mit Prof. Gordon Wetzstein erlangte die Erkenntnis, dass selbst Einrichtungen wie die Stanford University ihre Doktoranden ein Praktikum bei NVIDIA machen lässt, wenn es an das finale Training der Modelle geht. Eine Praxis die an der HFU im Moment noch schwierig umzusetzen ist. Prof. Hahne hat auf der ICCV in Paris den Kontakt zu Christian Richardt bei Meta aufgebaut, der die aktuell laufenden Abschlussarbeiten beratend unterstützt. Für die im Abschnitt 4.3.1 ausführlicher genannten Projektideen wird ein erhöhter Ressourcenbedarf entstehen. Glücklicherweise hat die HFU inzwischen einen Vertrag mit Google erarbeitet, der den Einsatz der Rechenleistung von Google ermöglichen soll.

### 4.3. Fazit

Insgesamt betrachten wir das Projekt als vollen Erfolg. Das Ziel die zukünftige Forschungsrichtung von Prof. Hahne zu schärfen ist voll erfüllt. Es wurden wertvollen Erkenntnisse gesammelt, die für die kommenden Projekte und Anträge sehr wertvoll werden können. Im Folgenden werden noch erste Ideen für Projektanträge dargelegt.

#### 4.3.1. Zukünftige Projekte

Prof. Hahne plant die Anwendung von NeRF und 3D Gaussian Splatting in das Zentrum seiner zukünftigen Forschungsarbeit zu setzen. Beide Technologien sind vielversprechend und erlauben schnell visuell beeindruckende Ergebnisse, die die Außenwirkung der Hochschule positiv beeinflussen können. Unter dem Begriff Spatial Intelligence geht es darum 3D Rekonstruktion nicht nur rein geometrisch zu betrachten, sondern zusätzliche Information in die zu erstellende Modelle zu integrieren, die neuartige Anwendungen ermöglichen. Im Folgenden werden ein paar Ideen skizziert.

##### 4.3.1.1. Stadtplanung

Stadtplaner können mit natürlicher Sprache ein virtuelles Stadtmodell bearbeiten und sich erste visuelle Eindrücke ihrer Ideen generieren. Die Eingabe eines Prompts wie „Erstelle einen Radweg entlang des Ufers“ könnte zu einer automatischen Veränderung des Modells führen und einen schnellen, ersten Eindruck ermöglichen.

##### 4.3.1.2. Campusleitsystem

Aktuell laufen drei Abschlussarbeiten, die sich zum gemeinsamen Ziel gemacht haben, ein 3D Modell des Furtwanger HFU Campus zu erzeugen. Das Modell soll kein klassisches Dreiecksnetz sein, sondern entweder ein NeRF oder eine Menge von 3D Gaussians. Durch das Einbetten von Kontextinformationen zur Hochschule soll es möglich sein, sich Wege von einer

<sup>15</sup><https://radiancfields.com/>

<sup>16</sup><https://www.youtube.com/@ViewDependent>

Einrichtung zur anderen Anzeigen zu lassen. Das System erkennt natürliche Spracheingaben und kann aufgrund der in das Modell eingebetteten Information auch mit Begriffen wie „A-Bau“, „Prüfungsamt“ oder „Mensa“ umgehen und die Nutzer leiten. Das Projekt ist auf drei Arbeiten aufgeteilt, da sowohl die effiziente Erzeugung, das Einbetten von Sprache als auch die finale Pfadplanung jeweils ihre eigenen Herausforderungen hat.

## Quellenverzeichnis

- Gonzalez, M. A. P. 2023. Comparison of 3D Capture Techniques, with Application in the Design of a WebAR Catalog of the Gargoyles of the Freiburg Cathedral.
- Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkuehler, T., und Drettakis, G. 2023. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering. *ACM Transactions on Graphics* 42, 4, 1–14.
- Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., und Ng, R. 2020. NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis.
- Müller, T., Evans, A., Schied, C., und Keller, A. 2022. Instant Neural Graphics Primitives with a Multiresolution Hash Encoding. *ACM Transactions on Graphics* 41, 4, 1–15.
- Schleise, S. 2023. Multi-View Neural Radiance Fields for 3D Reconstruction. [https://sabinecelina.github.io/masterthesis-nerf\\_mv](https://sabinecelina.github.io/masterthesis-nerf_mv)
- Schleise, S., Hahne, U., und Lindinger, J. 2024. An Automated Pipeline to Bring NeRFs to the Industrial Metaverse. *Computer Science Research Notes* 3401, 1, 157–166.
- Tewari, A., Thies, J., Mildenhall, B., u. a. 2022. Advances in Neural Rendering.
- Wikipedia. 2024. CUDA — Wikipedia, die freie Enzyklopädie. [https://de.wikipedia.org/wiki/CUDA#Kritik,\\_Nachteile](https://de.wikipedia.org/wiki/CUDA#Kritik,_Nachteile)

## 5. Appendix

### 5.1. Liste der Anschaffungen

Im Rahmen des Projekts wurden folgende Anschaffungen getätigt:

- Laptop mit CUDA
- MacBookPro
- iPad Pro mit LIDAR Sensor
- Stative
- VR Brille

### 5.2. Liste Unterprojekte

Folgende Unterprojekte wurden im Rahmen des Hauptprojekts durchgeführt:

- Nic Rubner (Hiwi)
- Lukas Willmann (Hiwi)
- Master Forschungsprojekt Free3D
- Zusammenarbeit mit dem Freiburger Münsterbauverein

### 5.3. Liste der Abschlussarbeiten

Es wurden die folgenden Abschlussarbeiten im Kontext des Projekts betreut:

Jahr	Autor:in	Titel	Partner
2024	Nguyen, Baohan	Wasserspeier am Freiburger Münster: Entwicklung einer webbasierten Augmented Reality Anwendung zur Erhaltung des Kulturerbes und interaktiven Erkundung	Münsterbauverein Freiburg
2024	Widmann, Dominik	Implementation and evaluation of Neural Radiance Fields as an immersive technology in industry at technology start-up Dromni: An application study	DROMNI GmbH, München
2024	Rubner, Nic	Design eines Software-Frameworks zur Integration von Azure Kinect-Daten in AR-Applikationen	
2023	Paredes Gonzalez, Moreli Andrea	Comparison of 3D Capture Techniques, with Application in the Design of a WebAR Catalog of the Gargoyles of the Freiburg Cathedral	Münsterbauverein Freiburg
2023	Schleise, Sabine	Neural Radiance Fields in the context of the Industrial Metaverse	SICK AG, Waldkirch
2023	Kowatsch, Fabian	Implementing a real-time 3D viewer for Neural Radiance Fields	
2023	Brausch, Lukas	KinectAR: Implementierung einer Live-Datenübertragung einer Kinect Azure-Punktwolke auf ein AR-fähiges Mobilgerät	