

# Diplomarbeit

## 3D Object Tracking

Image-Based 3D Tracking with Multiple Stations

Eingereicht von

**Prantl Niclas**  
**Krahbichler Lukas**

Eingereicht bei

**Höhere Technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt**  
**Anichstraße**

Department of Electronics and Computer Engineering

Betreuer

Götsch Leopold  
Egger Eva-Maria  
Jank Andreas

Projektpartner

None

Innsbruck, ... 2025

---

Abgabevermerk:

Betreuer/in:

Datum:



## Kurzfassung / Abstract

Eine Kurzfassung ist in deutscher sowie ein Abstract in englischer Sprache mit je maximal einer A4-Seite zu erstellen. Die Beschreibung sollte wesentliche Aspekte des Projektes in technischer Hinsicht beschreiben. Die Zielgruppe der Kurzbeschreibung sind auch Nicht-Techniker! Viele Leser lesen oft nur diese Seite.

### Beispiel für ein Abstract (DE und EN)

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit verschiedenen Fragen des Lernens Erwachsener – mit dem Ziel, Lernkulturen zu beschreiben, die die Umsetzung des Konzeptes des Lebensbegleitenden Lernens (LBL) unterstützen. Die Lernfähigkeit Erwachsener und die unterschiedlichen Motive, die Erwachsene zum Lernen veranlassen, bilden den Ausgangspunkt dieser Arbeit. Die anschließende Auseinandersetzung mit Selbstgesteuertem Lernen, sowie den daraus resultierenden neuen Rollenzuschreibungen und Aufgaben, die sich bei dieser Form des Lernens für Lernende, Lehrende und Institutionen der Erwachsenenbildung ergeben, soll eine erste Möglichkeit aufzeigen, die zur Umsetzung dieses Konzeptes des LBL beiträgt. Darüber hinaus wird im Zusammenhang mit selbstgesteuerten Lernprozessen Erwachsener die Rolle der Informations- und Kommunikationstechnologien im Rahmen des LBL näher erläutert, denn die Eröffnung neuer Wege zur orts- und zeitunabhängiger Kommunikation und Kooperation der Lernenden untereinander sowie zwischen Lernenden und Lernberatern gewinnt immer mehr an Bedeutung. Abschließend wird das Thema der Sichtbarmachung, Bewertung und Anerkennung des informellen und nicht-formalen Lernens aufgegriffen und deren Beitrag zum LBL erörtert. Diese Arbeit soll

einerseits einen Beitrag zur besseren Verbreitung der verschiedenen Lernkulturen leisten und andererseits einen Reflexionsprozess bei Erwachsenen, die sich lebensbegleitend weiterbilden, in Gang setzen und sie somit dabei unterstützen, eine für sie geeignete Lernkultur zu finden.

This thesis deals with the various questions concerning learning for adults – with the aim to describe learning cultures which support the concept of live-long learning (LLL). The learning ability of adults and the various motives which lead to adults learning are the starting point of this thesis. The following analysis on self-directed learning as well as the resulting new attribution of roles and tasks which arise for learners, trainers and institutions in adult education, shall demonstrate first possibilities to contribute to the implementation of the concept of LLL. In addition, the role of information and communication technologies in the framework of LLL will be closer described in context of self-directed learning processes of adults as the opening of new forms of communication and co-operation independent of location and time between learners as well as between learners and tutors gains more importance. Finally the topic of visualisation, validation and recognition of informal and non-formal learning and their contribution to LLL is discussed.

Gliederung des Abstract in **Thema, Ausgangspunkt, Kurzbeschreibung, Zielsetzung**.

**Projektergebnis** Allgemeine Beschreibung, was vom Projektziel umgesetzt wurde, in einigen kurzen Sätzen. Optional Hinweise auf Erweiterungen. Gut machen sich in diesem Kapitel auch Bilder vom Gerät (HW) bzw. Screenshots (SW). Liste aller im Pflichtenheft aufgeführten Anforderungen, die nur teilweise oder gar nicht umgesetzt wurden (mit Begründungen).

# Erklärung der Eigenständigkeit der Arbeit

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe. Meine Arbeit darf öffentlich zugänglich gemacht werden, wenn kein Sperrvermerk vorliegt.

Ort, Datum

Verfasser 1

Ort, Datum

Verfasser 1



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Abstract</b>  | <b>ii</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 Vertiefende Aufgabenstellung . . . . .             | 1         |
| 1.1.1 Schüler*innen Name 1 . . . . .                   | 1         |
| 1.1.2 Schüler*innen Name 2 . . . . .                   | 1         |
| 1.2 Dokumentation der Arbeit . . . . .                 | 1         |
| <b>2 Market Analysis</b>                               | <b>3</b>  |
| 2.0.1 Industry Overview and Market Potential . . . . . | 3         |
| 2.0.2 Target Group Definition . . . . .                | 5         |
| 2.0.3 Buyer Personas . . . . .                         | 5         |
| 2.1 Competitor Analysis . . . . .                      | 6         |
| <b>3 Latex-Beispiele</b>                               | <b>9</b>  |
| 3.1 Aulistungen . . . . .                              | 9         |
| 3.2 Tabellen . . . . .                                 | 9         |
| 3.3 Abbildungen . . . . .                              | 11        |
| 3.4 Quellcode . . . . .                                | 11        |
| 3.4.1 Java-Code . . . . .                              | 11        |
| 3.4.2 Python-Code . . . . .                            | 12        |
| 3.4.3 Lesen von Dateien . . . . .                      | 12        |
| 3.5 Referenzen . . . . .                               | 12        |
| 3.6 Zitate . . . . .                                   | 13        |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                            | <b>23</b> |





# 1 Einleitung

In der Einleitung wird erklärt, wieso man sich für dieses Thema entschieden hat. (Zielsetzung und Aufgabenstellung des Gesamtprojekts, fachliches und wirtschaftliches Umfeld)

## 1.1 Vertiefende Aufgabenstellung

### 1.1.1 Schüler\*innen Name 1

### 1.1.2 Schüler\*innen Name 2

## 1.2 Dokumentation der Arbeit

Es werden die Projektergebnisse dokumentiert

- Grundkonzept
- Theoretische Grundlagen
- Praktische Umsetzung
- Lösungsweg
- Alternativer Lösungsweg
- Ergebnisse inkl. Interpretation

Weitere Anregungen:

- Fertigungsunterlagen
- Testfälle (Messergebnisse...)
- Benutzerdokumentation
- Verwendete Technologien und Entwicklungswerkzeuge



## 2 Market Analysis

### 2.0.1 Industry Overview and Market Potential

The proposed 3D object tracking system addresses the needs of several rapidly growing industries with substantial market potential:

- **Industrial Automation:** Precise tracking is crucial in manufacturing and logistics for process optimization and safety. 3D tracking integrated into industrial automation enhances accuracy in assembly lines, warehouse management, and quality control. As industries progress toward Industry 4.0, the need for sophisticated tracking solutions is growing.

| Source                        | Year Range | CAGR  | Market Value (USD)  |
|-------------------------------|------------|-------|---------------------|
| Allied Market Research (n.d.) | 2021-2031  | 8.7%  | 196.4 B - 443.5 B   |
| Grand View Research (n.d.)    | 2023-2030  | 10.5% | 172.26 B - 377.25 B |
| Mordor Intelligence (n.d.a)   | 2024-2029  | 8.77% | 203.05 B - 309.16 B |

Tabelle 2.1: Industrial Automation Market Projections

- **Augmented and Virtual Reality (AR/VR):** 3D tracking is fundamental for AR and VR applications, providing accurate spatial awareness and interaction. These technologies are used in gaming, education, and remote collaboration, enhancing user experiences through immersive environments.

| Source                       | Year Range | CAGR  | Market Value (USD) |
|------------------------------|------------|-------|--------------------|
| Statista (n.d.a)             | 2024-2029  | 8.97% | 40.4 B - 62 B      |
| Precedence Research (n.d.)   | 2023-2032  | 22.9% | 23.92 B - 187.28 B |
| The Insight Partners (n.d.a) | 2023-2031  | 36.9% | 52.4 B - 646.5 B   |

Tabelle 2.2: AR/VR Market Projections

- **Security Systems:** 3D tracking enhances security by providing real-time location data, crucial for monitoring high-security environments. It improves situational awareness and response times by tracking people and objects.

| Source                             | Year Range | CAGR  | Market Value (USD)  |
|------------------------------------|------------|-------|---------------------|
| Data Bridge Market Research (n.d.) | 2021-2028  | 11.5% | - 100.35 B          |
| Statista (n.d.c)                   | 2022-2027  | -     | 130.07 B - 234.72 B |
| The Insight Partners (n.d.b)       | 2023-2031  | 10.4% | 51.78 B to 114.55 B |

Tabelle 2.3: Video Surveillance Market Projections

- **Autonomous Vehicles and Drones:** Accurate 3D tracking is vital for navigating autonomous vehicles and drones, especially in complex environments. It enhances obstacle detection, path planning, and decision-making, essential for safe operations.

| Source                        | Year Range | CAGR   | Market Value (USD) |
|-------------------------------|------------|--------|--------------------|
| Statista (n.d.b)              | 2024-2029  | 2.24%  | 4.3 B - ?          |
| Mordor Intelligence (n.d.b)   | 2024-2029  | 13.74% | 17.31 B - 32.95 B  |
| Expert Market Research (n.d.) | 2024-2032  | 10.8%  | 27.7 B - 59.2 B    |

Tabelle 2.4: Drone Market Projections

These industries, encompassing manufacturers, security providers, and technology companies, represent a vast potential customer base. The increasing demand for automation, safety, and immersive experiences underscores the significant market opportunity for a versatile 3D object tracking solution.

## 2.0.2 Target Group Definition

Our ideal customers are mid-size to large enterprises in the following sectors:

- Industrial Automation
- Augmented and Virtual Reality (AR/VR)
- Security and Surveillance
- Autonomous Vehicles and Drones

### Key Characteristics

- **Demographics:** Technical decision-makers (35-55), advanced degrees, primarily male, often fitting the 'Performer' and 'Adaptive Pragmatic Center' Sinus Milieus [Institut \(n.d.\)](#).
- **Geographics:** Based in developed economies, primarily urban tech hubs (e.g., Vienna, Linz, ...).
- **Psychographics:** Innovation-driven, seeking efficiency and precision; value data-driven decisions.
- **Behavioral:** Conduct extensive research, prefer proven, scalable solutions with reliable vendor support.
- **Needs:** Require systems that enhance tracking precision, integrate seamlessly, and provide cost-effective solutions.
- **Technographics:** Technologically sophisticated, highly active online, engaged in industry-specific digital platforms.

We estimate a potential customer base of several hundred companies, primarily in tech-savvy, high-growth markets.

## 2.0.3 Buyer Personas

### Core Persona 1: Industrial Automation Manager

**Name:** Markus Müller

**Age:** 45

**Role:** Operations Manager

**Goals:** Enhance production line efficiency and safety with advanced tracking.

**Pain Points:** Difficulty integrating new tech with legacy systems.

**Buying Trigger:** Push toward Industry 4.0.

### **Core Persona 2: AR/VR Product Developer**

**Name:** Sarah Kim

**Age:** 38

**Role:** Lead Developer

**Goals:** Improve 3D tracking for seamless VR interaction.

**Pain Points:** Limited by current tracking precision.

**Buying Trigger:** Preparing for a major product launch.

### **Peripheral Persona 3: Security Systems Integrator**

**Name:** Peter Schmidt

**Age:** 50

**Role:** Senior Security Consultant

**Goals:** Offer advanced security with real-time tracking.

**Pain Points:** Balancing technology with budget and regulations.

**Buying Trigger:** Increased demand for enhanced security.

## 2.0.4 Competitor Analysis

The 3D object tracking market in Austria, while nascent, is witnessing increasing competition due to the rising demand for automation, immersive experiences, and enhanced security across various sectors. The following analysis focuses on three key competitors, considering their relevance to the Austrian market [Insights \(n.d.\)](#):

1. **Vicon (UK):** A well-established player in motion capture, Vicon's influence extends across Europe, including Austria. They cater to diverse industries, particularly those requiring advanced motion capture and analysis. Their solutions are known for high accuracy and versatility, but the associated high cost might limit their accessibility for some customers [Ltd \(n.d.\)](#).
2. **Qualisys (Sweden):** Qualisys offers sophisticated motion capture systems with a strong presence in research and development sectors within the EU. Their focus on precision and data quality makes them attractive for scientific and engineering applications. However, their

solutions might be less suitable for cost-sensitive or less technically demanding use cases [Qualisys \(n.d.\)](#).

3. **ViewAR (Austria):** A key player in Austria's AR and 3D technology landscape, ViewAR specializes in augmented reality solutions, integrating 3D tracking and object recognition. Their focus on AR applications and local presence gives them an advantage in understanding the specific needs of the Austrian market [ViewAR \(n.d.\)](#).

### **Competitive Landscape**

The Austrian 3D object tracking market is characterized by a mix of international players like Vicon and Qualisys, who bring their established expertise, and local companies like ViewAR, who offer specialized solutions. The competitive landscape is still evolving, with opportunities for new entrants offering innovative and cost-effective solutions.

### **Our Differentiation and Positioning**

Our 3D object tracking system distinguishes itself by providing a markerless solution that leverages computer vision and multiple calibrated ground stations. This approach offers a combination of accuracy, flexibility, and affordability, addressing the limitations of existing systems.

We position ourselves as a provider of an innovative and accessible 3D tracking solution that empowers businesses and individuals across various industries. Our target customers are those seeking a flexible and reliable tracking system that doesn't require specialized markers or reflectors, particularly in the industrial automation, AR/VR, security, and autonomous systems sectors within the Austrian market.





## 3 Latex-Beispiele

### 3.1 Aulistungen

- *Kursiv* Text 1
- **Fett**
- TT

Dasselbe durchnumeriert:

1. *Kursiv* Text 1
2. **Fett**
3. TT

### 3.2 Tabellen

Eine Tabelle mit Testdaten:

| <b>position</b> | <b>mean</b> | <b>median</b> | <b>sd</b> | <b>min</b> | <b>max</b> |
|-----------------|-------------|---------------|-----------|------------|------------|
| <b>6</b>        | 6.89        | 5.61          | 7.29      | 0.31       | 160.12     |
| <b>9</b>        | 5.35        | 4.39          | 4.94      | 0.18       | 76.40      |
| <b>12</b>       | 8.70        | 6.96          | 10.72     | 0.15       | 239.88     |
| <b>13</b>       | 9.01        | 7.54          | 7.60      | 0.15       | 138.86     |
| <b>15</b>       | 8.18        | 6.99          | 6.86      | 0.16       | 117.26     |
| <b>16</b>       | 5.26        | 4.42          | 4.99      | 0.08       | 110.21     |
| <b>17</b>       | 5.87        | 4.79          | 6.13      | 0.15       | 98.88      |
| <b>36</b>       | 8.21        | 6.72          | 7.58      | 1.36       | 122.35     |
| <b>42</b>       | 6.77        | 5.93          | 6.98      | 1.72       | 123.72     |
| <b>43</b>       | 6.27        | 5.53          | 3.21      | 0.57       | 35.69      |

Tabelle 3.1: Eine Tabelle mit Testdaten

Sprachen wie z.B. **R** können Latex-Tabellen exportieren, sie müssen also nicht immer so aufwändig formatiert werden.

## 3.3 Abbildungen

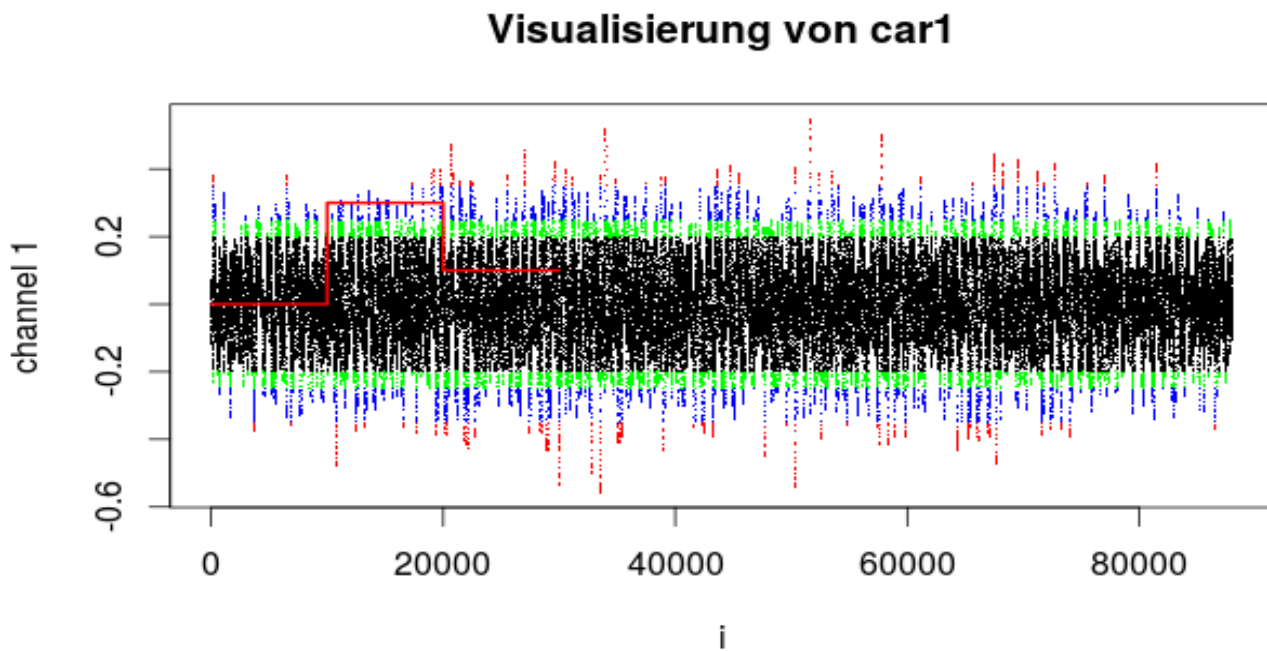


Abbildung 3.1: Ein Beispiel für ein Bild

## 3.4 Quellcode

Quellcode wird automatisch (mit der Möglichkeit die Sprache anzugeben) formatiert und in das Listings-Verzeichnis gegeben:

### 3.4.1 Java-Code

```
1 int i = 1;  
2 float f = 2;
```

```
3 System.out.printf("Int-Z %d Float-Z: 52f",i ,f );
```

Listing 3.1: Java-Beispiel

#### 3.4.2 Python-Code

```
1 #Hier ein kleines Beispiel in Python
2 lower = 0
3 upper = 10
4 for i in range(lower,upper):
5     print(i)
```

Listing 3.2: Python-Beispiel

#### 3.4.3 Lesen von Dateien

Es kann auch direkt von Dateien gelesen werden:

```
1 public class First {
2
3     public static void main(String[] args) {
4         for (int i = 0; i < 10; i++) {
5             System.out.println(i);
6         }
7     }
8 }
```

Listing 3.3: Java-Beispiel von Datei

### 3.5 Referenzen

Beispiele für die Verwendung von Referenzen:

- Wie in Tabelle [3.1](#) ersichtlich...
- Wir sind im Kapitel [3](#)
- In Zeile 2 im Listing [3.3](#)

## 3.6 Zitate

Hier das Zitat eines Buches: ? Wird alles automatisch mit bibtex erledigt.



# Appendix





# Tabellenverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Industrial Automation Market Projections . . . . . | 3  |
| 2.2 | AR/VR Market Projections . . . . .                 | 4  |
| 2.3 | Video Surveillance Market Projections . . . . .    | 4  |
| 2.4 | Drone Market Projections . . . . .                 | 4  |
| 3.1 | Eine Tabelle mit Testdaten . . . . .               | 10 |



# Abbildungsverzeichnis

|     |                                     |    |
|-----|-------------------------------------|----|
| 3.1 | Ein Beispiel für ein Bild . . . . . | 11 |
|-----|-------------------------------------|----|



# Listings

|     |                                   |    |
|-----|-----------------------------------|----|
| 3.1 | Java-Beispiel . . . . .           | 11 |
| 3.2 | Python-Beispiel . . . . .         | 12 |
| 3.3 | Java-Beispiel von Datei . . . . . | 12 |



## Literaturverzeichnis

Allied Market Research (n.d.), 'Industrial automation market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-automation-market-A17518>

Data Bridge Market Research (n.d.), 'Video surveillance market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-video-surveillance-market>

Expert Market Research (n.d.), 'Drone market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.expertmarketresearch.com/reports/drone-market>

Grand View Research (n.d.), 'Industrial automation market size, share & trends analysis report'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-automation-market>

Insights, B. R. (n.d.), '3d motion capture market size, share, growth, and industry analysis by type (optical system and non-optical system) by application (entertainment, life science and others), regional insights, and forecast from 2024 to 2032'. Accessed: 2024-09-02.

**URL:** <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/3d-motion-capture-market-101955>

Institut, S. (n.d.), 'Sinus-milieus Österreich | sinus-institut'. Accessed: 2024-08-29.

**URL:** <https://www.sinus-institut.com/de/sinus-milieus/oesterreich>

Ltd, V. M. S. (n.d.), 'Motion capture systems'. Accessed: 2024-09-02.

**URL:** <https://www.vicon.com/applications/>

Mordor Intelligence (n.d.a), 'Industrial automation market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industrial-automation-market>

Mordor Intelligence (n.d.b), 'Uav market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/uav-market>

Precedence Research (n.d.), 'Virtual reality market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.precedenceresearch.com/virtual-reality-market>

Qualisys (n.d.), 'Motion capture systems'. Accessed: 2024-09-02.

**URL:** <https://www.qualisys.com/>

Statista (n.d.a), 'Augmented and virtual reality (ar/vr) market size worldwide from 2022 to 2030'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/worldwide>

Statista (n.d.b), 'Consumer drone market size worldwide from 2015 to 2027'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/drones/worldwide>

Statista (n.d.c), 'Size of the global surveillance technology market from 2022 to 2027'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.statista.com/statistics/1251839/surveillance-technology-market-global/>

The Insight Partners (n.d.a), 'Augmented reality and virtual reality market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.theinsightpartners.com/reports/augmented-reality-and-virtual-reality-market>

The Insight Partners (n.d.b), 'Video surveillance market'. Accessed: 2024-08-28.

**URL:** <https://www.theinsightpartners.com/reports/video-surveillance-market>

ViewAR (n.d.), 'Augmented reality solutions'. Accessed: 2024-09-02.

**URL:** <https://viewar.com/>