

# **Mensch-Roboter-Kollaboration in der virtuellen Realität**

Grundlegende relevante Technologien für die Umsetzung eines digitalen Zwillings in der  
virtuellen Realität für die Industrie 4.0

## **Bachelor Arbeit**

Eingereicht in teilweiser Erfüllung der Anforderungen zur Erlangung des akademischen Grades:

## **Bachelor of Science in Engineering**

an der FH Campus Wien

Studienfach: Computer Science and Digital Communications

### **Autor:**

Darius Vasiu

### **Matrikelnummer:**

C1810475056

### **Betreuer:**

DI Dr. techn. Mugdim Bublin

### **Datum:**

17.01.2021

Erklärung der Urheberschaft:

Ich erkläre hiermit diese Bachelor Arbeit eigenständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen Quellen, als die in der Arbeit gelisteten verwendet, noch habe ich jegliche unerlaubte Hilfe in Anspruch genommen

Ich versichere diese Bachelor Arbeit in keinerlei Form jemandem Anderen oder einer anderen Institution zur Verfügung gestellt zu haben, weder in Österreich noch im Ausland.

Weiters versichere ich, dass jegliche Kopie (gedruckt oder digital) identisch ist.

Datum: 17.01.2021

Unterschrift:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Darius Vasiu', written over a horizontal line.

# Abstract

This paper deals with the practical implementation of a Digital Twin. An application for virtual reality headset was created using the Unity development environment. To do this, a prototype UR3 robot was built in virtual reality and installed on an Oculus Quest. Each sub-area, which was relevant for this thesis, is explained and introduced to the topic by basics of the different areas. The relevant topics are the following: virtual reality, robotics, industry 4.0 and artificial intelligence.

Reference is made to the current use of these technologies, as well as to future opportunities and risks of these technologies in connection with industry, medicine and everyday life. The advanced work would be an implementation of an AI, either in the robot already created or also another type of robot, again in virtual reality.

# Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der praktischen Umsetzung eines Digital Twins. Es wurde eine Applikation für eine Virtual Reality-Brille erstellt mit Hilfe der Entwicklungsumgebung Unity. Dazu wurde ein Prototyp eines UR3-Roboters in Virtual Reality gebaut und auf einer Oculus Quest installiert. Jeder Teilbereich, welcher für diese Arbeit relevant war, wird erläutert und durch Grundlagen der verschiedenen Bereiche in die Thematik eingeführt. Die relevanten Themen sind die folgenden: Virtual Reality, Robotik, Industrie 4.0 und künstliche Intelligenz.

Es wird Bezug auf den heutigen Einsatz dieser Technologien genommen, sowie auf zukünftige Chancen und Risiken dieser Technologien in Verbindung mit der Industrie, der Medizin und dem Alltag. Die weiterführende Arbeit wäre eine Implementierung einer KI, entweder in dem bereits erstellten oder auch einem anderen Typ Roboter, wiederum in Virtual Reality.

# Abkürzungen

AR	Augmented Reality
DL	Deep Learning
DOF	Degrees of Freedom
FPS	First Person Shooter
HMD	Head Mounted Display
HRC	Human Robot Collaboration
IMU	Inertial Measurement Unit
KI	Künstliche Intelligenz
ML	Machine Learning
UI	User Interface
VR	Virtual Reality

# Schlüsselbegriffe

Virtuelle Realität

Robotik

Industrie 4.0

Künstliche Intelligenz

Mensch-Roboter-Kollaboration

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Ziele dieser Arbeit . . . . .	2
1.3	Gliederung und Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Virtual Reality . . . . .	3
2.2	Robotik . . . . .	5
2.3	Künstliche Intelligenz . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Simulation und Ergebnis</b>	<b>14</b>
3.1	Unity . . . . .	14
3.2	Experiment . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>21</b>
4.1	Erkenntnisse . . . . .	21
4.2	Herausforderungen und Lösungen . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Verwandte Arbeiten</b>	<b>24</b>
5.1	VRGym . . . . .	24
5.2	UnrealROX . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>26</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>27</b>
	<b>List of Figures</b>	<b>31</b>

# 1 Einführung

Etwas in der heutigen Welt beruflich als Individuum zu erreichen, wird mit dem rasanten Zuwachs der Prozessorleistungen immer schwerer. Die komplexen Themen wie Industrie 4.0, Virtual Reality, künstlicher Intelligenz und Robotern beschäftigt, machen einem klar, dass die Welt der Technologie immer unübersichtlicher wird als Außenstehender, aber auch als ein Student in der Informatik. Diese Bereiche sind bereits so detailliert geworden, dass man nur mehr in einzelnen Bereichen ein Experte sein kann. Natürlich gibt es aber auch Ausnahmen, die die Regel bestätigen. Um den Expertenstatus zu erreichen, muss man sich mit diesen komplexen Themen auseinandersetzen, sie verstehen und umsetzen. Jedoch gibt es auch Vorteile, die wir nutzen können, damit diese Technologien nicht uns bestimmen, sondern wir die Technologien und dass wir die Vorteile dieser, für unser Wohlbefinden und physische als auch psychische Erleichterung einsetzen können. Virtual Reality wird immer präsenter. Je weiter die Entwicklung der Prozessoren, Displays, Sensoren und der Feedbackmöglichkeit voranschreitet, desto eher wird sich diese Technologie am Markt durchsetzen. Vor allem in Verbindung mit der kommenden bzw. bereits teilweise präsenten Industrie 4.0 und mit der mitgebrachten Technologie der künstlichen Intelligenz gestützten Robotern, kann hier eine Symbiose zwischen Roboter und Mensch einen Vorteil bringen. Um Personen mit einem physischen Roboter interagieren lassen zu können, braucht man einen gewissen Zeitraum, in dem man diese ohne Gefahren für den Menschen trainieren kann. Dies passiert in der virtuellen Welt, die uns erleichtert, einen physischen Roboter zu programmieren und zu optimieren, ohne dass viel Strom verbraucht wird, Experten der Robotertechnologie zu Rate gezogen werden müssen oder dass sich der User in Gefahr bringen muss, indem er mit dem physischen Roboter interagiert während der Arbeit und dem Training. Hierzu gibt es das virtuelle Pendant zum physischen Roboter: der digitale Zwilling (Digital Twin). Diese Technologie ermöglicht es uns, viele Trainingsszenarien zum Beispiel für einen neuen Mitarbeiter vorzubereiten. Ob in der Forschung oder im Einsatz eines Risikogebietes: es gibt eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten, die durch die Kombination von Mensch, künstlicher Intelligenz, Robotik und Virtual Reality profitieren können.

## 1.1 Motivation

Die Motivation für diese Arbeit ist die Zuversicht, dass sich diese Technologien als einen Vorteil für die Bevölkerung herausstellen. Denn die Industrie und die Robotik haben in den letzten Jahrzehnten viele Arbeitsplätze ersetzt [PMR<sup>+</sup>18]. Teilweise, weil sich Mitarbeiter nicht mehr fortgebildet haben, teilweise, weil viele Arbeiten für die Physis des Menschen nicht ausgelegt sind und es Sinn machte, diese Stellen mit Robotern zu ersetzen. Aber auch, weil Roboter in vielen Aspekten effizienter sind als Menschen. Viele Menschen haben in diesen Zeiten des Umbruchs, des technologischen Aufschwungs und der aktuellen Situation einer Pandemie Angst vor einem Jobverlust, daher denke ich, dass eine Kombination zwischen Mensch und Technologie (Home Office - wird in dieser Arbeit nicht näher erläutert) bzw. zwischen Mensch und Roboter in der Industrie der beste Weg ist, dieses Geschenk der Technik einzusetzen. Roboter sollen für uns, aber auch mit uns arbeiten. Natürlich gehört eine gewisse

## 1 Einführung

Weiterbildung auch vom Mitarbeiter dazu. Hilfestellungen durch die virtuelle Realität können dazu führen, dass der Mitarbeiter den Umgang mit dem Roboter viel leichter und schneller erlernt als durch ein Handbuch. Außerdem: wer einmal schon in der virtuellen Realität war, erkennt das Potenzial und auch den Spaßfaktor, die diese Technologie mit sich bringt.

### 1.2 Ziele dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Auseinandersetzung mit den Grundlagen und der Funktionsweise der virtuellen Realität; die Grundlagen und Funktionsweise sowie die soziale und psychische Akzeptanz der Robotik in Zusammenarbeit mit dem Menschen. Außerdem das grundlegende Verständnis der Kombination eines Roboters mit einer künstlichen Intelligenz. Ziel ist es auch, die Erkenntnis der Vorteile eines Digital Twins: einem virtuellen Zwilling des physischen Roboters.

### 1.3 Gliederung und Aufbau der Arbeit

Im ersten Kapitel wird in die Thematik eingeführt: die Geschichte dieser Technologien wird erläutert und die wichtigsten Aspekte aufgezeigt. Natürlich darf Isaac Asimov in diesem Kapitel nicht fehlen. Außerdem werden Einsatzmöglichkeiten und grundlegende Aspekte der verschiedenen Bereiche aufgegriffen. Die Vorteile sowohl in der Industrie als auch im physischen und psychischen Bereich werden ebenfalls aufgezählt. Im zweiten Kapitel wird die Software Unity näher erläutert und dessen Einsatzmöglichkeiten. Weiters wird das Experiment vorgestellt und die Simulation des Roboters, welcher in Unity gebaut wurde, erklärt. Das dritte Kapitel umfasst die Schwierigkeiten im Projekt, sowie Erkenntnisse dieser Arbeit. Das letzte Kapitel befassen sich mit verwandten Arbeiten, die ebenfalls Virtual Reality für die Simulation eines Roboters verwendet haben. In der Zusammenfassung wird nochmal Bezug genommen auf die Simulation selbst und auf die wichtigsten Aspekte dieser Arbeit, nachdem der Ausblick mit der geplanten weiterführenden Arbeit, die eine Implementation eines ML-Algorithmus enthält.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Virtual Reality

#### 2.1.1 Geschichte und Medien

Die erste Variante einer virtuellen Realität wird oft mit dem Höhlengleichnis Platons in Verbindung gesetzt. Hier wird einem Höhlenbewohner eine Realität vorgegaukelt, die nur an einer Höhlenwand real ist, projiziert von Schatten und einem Feuer hinter ihm. Sobald er sich umdreht oder aus der Höhle geht, sieht er die reale Realität. Die erste technische Umsetzung der VR gab es bei dem Projekt Cinerama sowie Sensorama[Ijs06] in den 50er Jahren. Da die Technologie und die Leistung nicht ausreichend waren, um es massentauglich zu machen, wurde die Technik mehr oder weniger vernachlässigt. Erst in den 80er Jahren erlebte die Technologie mit VIVED von der NASA einen Aufschwung. Auch Jaron Lanier war maßgeblich daran beteiligt, er hat als Erster den Term 'Virtual Reality' verwendet[Ber18]. Fortan gab es immer mehr Errungenschaften, zB CAVE (1992, angelehnt an der Höhle Platons)[CNSD<sup>+</sup>92], Forte VFX1 (1994)[Wik20e], Virtual Boy von Nintendo (1995)[Wik20i] um nur einige zu nennen. Das Unternehmen Oculus, welches später von Facebook aufgekauft wurde, hat zeitgleich mit HTC Brillen für den Heimmarkt herausgebracht, auch Sony mit der Playstation VR werken an dieser Technologie. Es gibt zurzeit auf dem Markt etliche Brillen, die autark funktionieren. Bei dieser Arbeit wurde eine Oculus Quest verwendet, die ebenfalls autark ist und dementsprechend ohne Kabel auskommt - somit im Raum frei beweglich. Das HMD verfügt über 6DOF<sup>1</sup> und verwendet Weitwinkelkameras und Sensoren, um sich im virtuellen Raum bewegen zu können. Im Film 'Ready Player One' (2018) von Steven Spielberg wird eine ferne Zukunft gezeigt, in der fast das ganze Leben in der virtuellen Realität stattfindet, auch die Serie 'Black Mirror' (2011 - 2019) zeigt in einigen Episoden die Auswirkungen von VR in der Zukunft, nur um zwei Beispiele der virtuellen Realität in den Medien aufzuzeigen.

#### 2.1.2 Grundlagen und Funktionsweise

Um einem User die virtuelle Realität vermitteln zu können, müssen viele Module miteinander abgestimmt werden. Denn nur wenn alle Sensoren und Kameras, die dafür benötigt werden, im Einklang sind und synchron arbeiten, kann ein immersives Gefühl entstehen und der User kann die virtuelle Realität annehmen. Der User 'betritt' diese Welt entweder über eine Brille (Inside-Out) oder er befindet sich in einem Raum an dessen Wände über einen Beamer die Projektion der Welt angestrahlt wird (Outside-In). Über Sensoren, die im Zimmer verteilt sind, wird die Position des Users bestimmt. Ebenfalls können die Sensoren in der Brille verbaut sein. Neigungssensoren, Beschleunigungssensoren und Gyroskope sind für die Bewegung im virtuellen Raum nicht mehr wegzudenken. Controller werden verwendet, um in der virtuellen Welt zu greifen, drücken, klicken, werfen, schieben etc. Hierfür sind LEDs sowohl in der Brille als auch im Controller verbaut, um das Tracking zu garantieren. Da hier die Bewegung der Brille synchron mit der Wahrnehmung sein muss, müssen diese Sensoren

---

<sup>1</sup>DOF: Degrees of Freedom, bezeichnet die Freiheitsgrade der Bewegung eines Körper im dreidimensionalem Raum. Hier: 6 Freiheitsgrade

so angepasst sein und genau funktionieren, da sonst die Motion Sickness eintritt. Dies ist eine Krankheit die auftritt, wenn das vestibulare System gestört wird, wenn die Bewegungen, die man mit den Augen wahrnimmt, nicht auch mit der Wahrnehmung des Gleichgewichtssinn übereinstimmen. Falls dies eintreffen sollte, empfindet der User grippeähnliche Symptome. Schwitzen, Unwohlsein, Übelkeit und Gleichgewichtsstörungen sind die Folge. Um dies zu vermeiden, müssen die Sensoren mit der Bewegung des Körpers bzw. der Drehung und Neigung des Kopfes übereinstimmen [LaV19].

### 2.1.3 Einsatz

VR kann in vielen Bereichen eingesetzt werden, vor allem im Bereich der Unterhaltung wird der Fokus mehr und mehr gelegt. Hier wurde in den letzten Jahren massiv investiert und geforscht, um das immersive Gefühl so ausgeprägt wie möglich zu gestalten. Auch in der Physiotherapie wird VR eingesetzt[ABA05], zum Beispiel wenn Lauftraining angesagt ist und der Patient Probleme mit dem Knie hat, kann hier in einer sicheren Umgebung das Knie untersucht werden während der Bewegung beim Joggen. Dem Patienten wird über die Projektion einer virtuellen Welt ein Gefühl von Natur suggeriert. Ebenso wird VR als psychologische Hilfe eingesetzt, um Trauma und Ängste zu überwinden. Zum Beispiel kann bei einer Schlangen- oder Spinnenphobie ein Raum voller Spinnen bzw Schlangen erstellt werden, in dem sich der User mit diesen Geschöpfen auseinandersetzen muss, jedoch in sicherer Umgebung. Auch Patienten, die in Kriegen Trauma erlebt haben, die nun an einer posttraumatischen Belastungsstörung[RRH<sup>+</sup>17] leiden, können durch VR sich diesem Trauma und dieser Angst langsam, aber sicher stellen und überwinden.

### 2.1.4 Training in VR

Als Trainingsapparat werden VR-Brillen in der Medizin eingesetzt, um zukünftige Ärzte operieren können, an einem virtuellen Menschen. So wird spielerisch gelernt, welche und was operiert werden muss, ohne dass jemand zu Schaden kommen kann[KBA<sup>+</sup>16]. Paketdienste wie DHL[DHL14] nutzen unter anderem diese Technologie, um neue Mitarbeiter trainieren, wiederum in einer sicheren Umgebung für den neuen Mitarbeiter, als auch für das Unternehmen. In VR kann nichts zu Bruch gehen. Es gibt sehr viele Vorteile, um ein Training in VR zu absolvieren. Es können Operationen aufgezeichnet werden und nach der Auswertung der Daten aufzeigen, wo der Mitarbeiter oder angehender Arzt Aufholbedarf hat. Außerdem können auch schwierige Einsätze im technischen Raum so lange trainiert werden und immer wieder durchgespielt werden, bis die Person die Fähigkeit oder den Umgang mit der Maschine erlernt hat. Als Beispiel kann man hier das Weltraumprogramm der NASA[BBS<sup>+</sup>01] oder ESA[OGK<sup>+</sup>18] nehmen, in dem sich die Astronauten teilweise in der virtuellen Welt auf das echte Erlebnis im Weltall vorbereiten. Dort kann jeder Fehler zum Tod führen, daher ist dieses Training so wichtig. Um Menschen an neuen Robotern oder ähnlichen Technologien üben zu lassen, kann man hier einen Digital Twin erzeugen, einen virtuellen Zwilling einer physischen Maschine erstellen, damit der Mitarbeiter aber auch die Maschine in Sicherheit arbeiten kann. Das Risiko einer Verletzung ist auf ein Minimum reduziert. Ebenso können Trainingsdaten aus der VR-Welt in den echten Roboter eingebaut werden, so hat man ein fix fertiges Produkt und kann dieses nutzen, mit stundenlangem bereits absolviertem Training. Auch Stromkosten können so reduziert werden, wenn der physische Roboter nur in der virtuellen Welt läuft und nicht in der physischen. Denn durch Training und in VR können Risiken minimiert werden. Auch kann remote mittels Robotern gearbeitet werden, durch die sogenannte 'Telerobotik', können Roboter durch eine Person in VR gesteuert und zum

Beispiel in Risikogebieten eingesetzt werden. Dort wo ein Mensch sich nicht lange aufhalten kann oder darf, zum Beispiel bei einer Atomkatastrophe[Tza06] oder bei einem Erdbeben, wo Helfer verschüttet werden könnten von einem Nachbeben, kann die Symbiose zwischen VR und Robotik Menschenleben retten.

### 2.1.5 Digital Twin

Die Idee eines Digital Twins, führt zurück zu den physischen Umsetzungen eines Zwilling, wie zum Beispiel der Mars Rover der NASA. Von dem Mars Rover, der zurzeit auf dem Mars für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt wird, gibt es eine baugleiche Abbildung auf der Erde[Gri16]. Bei dem Apollo-Projekt wurde zum Beispiel noch die gesamte Kapsel originalgetreu nachgebaut[Wik20b], mit aller Elektronik und Sensorik. Dies war notwendig, damit auf originalgetreuen Nachbaumodulen getestet werden kann, aber auch um Geschehnisse in der Raumkapsel nachahmen zu können. Das bedeutet auch, das hier mehr oder weniger die doppelten Kosten angefallen sind, was mit einem digitalen Zwilling vermieden hätte werden können, indem alles in der virtuellen Realität aufgebaut wird. Zu der Zeit der Mondlandung, war diese Technologie jedoch noch in den Kinderschuhen. Das SCADA-System nutzt das eigentliche Prinzip des virtuellen Zwillings[ASA15]. Hier wird eine ganze Anlage abgebildet, Pumpen und Rohre, Tanks und Sensoren oder auch Ventile werden hier in einer GUI angezeigt und kann von sicherer Entfernung überwacht und bedient werden. Dies erleichtert vor allem das Verständnis wo sich was in der Anlage befindet. Sobald man ein Modell vor Augen hat, sei es ein Roboter oder eine Anlage oder ein Modell eines Raumschiffs, tut sich der Bediener leichter, das ganze System zu verstehen und wie alles miteinander kommuniziert.

## 2.2 Robotik

### 2.2.1 Geschichte und Medien

Die Geschichte dieser Technologie hat eine Person maßgeblich beeinflusst, nämlich Isaac Asimov. Mit seinen Büchern über Robotern als dem Menschen gleichgestellt oder als Helfer, hat er das Image der Roboter, die bis dahin als menschenverachtende Wesen in Erscheinung traten, vollkommen verändert. In seinen Büchern gab es 3 Gesetze: ein Roboter darf einen Menschen keinen Schaden zufügen, ein Roboter muss den Befehlen des Menschen gehorchen, außer es verstößt gegen das erste Gesetz und ein Roboter muss sich selbst schützen, solange nicht gegen die ersten zwei Gesetze verstoßen wird[MW09]. Diese Gesetze werden so oder so ähnlich auch in Zukunft in einem Roboter mit künstlicher Intelligenz eingebaut werden.

Der Begriff 'Roboter' kommt aus der slawischen Sprache (robota, rabota) und bedeutet so viel wie 'Zwangsarbeit, Knechtschaft'. Dieser Begriff wurde durch Josef Capek[CM17] geprägt und hatte damals schon die Bedeutung eines künstlichen Wesens, welches die Arbeit übernommen sollte. Der Gedanke eines Wesens, die die Arbeit übernimmt ist nicht neu, auch in der jüdischen Literatur gibt es den Golem[Wik20f], der geschaffen wurde, um Aufträge für den Erschaffer durchzuführen.

Weitere wichtige Erwähnungen eines Roboters wäre der humanoide Roboter von Leonardo Da Vinci, eine Art Ritter, der sich bewegen hat können, falls dieser überhaupt jemals gebaut wurde. Jacques de Vaucanson hat im 18. Jahrhundert eine mechanische Ente gebaut, welche quaken, Flügel ausweiten, paddeln kann, auch Wasser trinken und Getreide essen und auch verdauen kann - wahrscheinlich wurde aber das verdaute Getreide nicht tatsächlich verdaut, sondern im Vorhinein vorbereitet und in die Ente eingefüllt.[Nil09]



Abbildung 2.1: Replika aus 1998 der Ente von Jacques de Vaucanson [Nil09]

### 2.2.2 Grundlagen

Es gibt verschiedene Definitionen des Begriffes 'Roboter'. Die VDI-Richtlinie 2860 zum Beispiel definiert Industrieroboter als 'Bewungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkel frei programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind.'[Nab13]. In der Definition steht noch, dass diese Roboter Werkzeuge zum Greifen haben und noch weiter ausrüstbar sind. Die Definition nach der Robotic Industries Association[Ass09] nennt einen Roboter ein 'Mehrzweck-Handhabungsgerät', welches programmierbar ist und für das Bewegen von Objekten eingesetzt werden kann. Ein Roboter ist als Hilfe für den Menschen gedacht, bestehend aus mehreren beweglichen Teilen, wie zum Beispiel Motoren, Gelenke, Prozessor, Steuern, Achsen, Räder, Kameras und auch viele Sensoren werden eingebaut um das Umfeld erfassen zu können. Meist wird ein Roboter über ein Stromkabel verbunden mit Strom versorgt, jedoch gibt es auch batteriebetriebene Roboter, zum Beispiel Staubsaugroboter. Für die Verbindung zu einer Steuereinheit können Kabeln verwendet werden aber auch over-the-air über WLAN beispielsweise verbunden. Ein Roboter kann aus verschiedenen Werkstoffen bestehen, meist wird die Verkleidung aber aus Kostengründen aus Kunststoff hergestellt, teilweise sogar gedruckt aus dem 3D-Drucker. Aber auch Metall kann eingesetzt werden, wenn dies erforderlich ist, der Roboter wird dadurch schwerer und unbeweglicher aber auch robuster.

### 2.2.3 Einsatz

In der Philosophie gibt es den Begriff des Transhumanismus, unter dem man die Verschmelzung von Roboter und Mensch versteht. Unter diesem Begriff fallen sowohl einfache Prothesen als auch Prothesen, die mittels Gehirnströme gelenkt werden können[KN13]. Auch eine Gehirn-Computer-Schnittstelle fällt hier hinein, zum Beispiel das Unternehmen Neuralink[KAL19], welche an so einer Technologie arbeitet. Der Film 'I, Robot' von Alex Proyas, erzählt die Geschichte eines Roboters, der ein Bewusstsein und Gefühle entwickelt. Basierend auf den Büchern von Isaac Asimov, wird hier gezeigt, dass die Brücke zwischen Mensch und Maschine

teilweise nur eine Prothese ist oder eine ausgereifte künstliche Intelligenz integriert in einem Roboter. Eine Aufzählung der Einsatzmöglichkeiten von Robotern:

**Roboter im Servicebereich:** Das Unternehmen Mitsubishi Electric hat im März 2020 bekanntgegeben, dass es eine Technologie entwickelt haben, die für verschiedene Zwecke in Robotern eingesetzt werden kann, je nach Bedarf. Diese Technologie ermöglicht es, Roboter in Bereichen der Reinigung, Sicherheit, Zustellung von Post und Paketen und der Wegweisung einzusetzen. Dem Roboter wird der Gebäudeplan als Grundlage gegeben, um von A nach B zu gelangen und so als Hilfe für Gäste oder aber auch für die Kommunikation und Postweg für verschiedene Abteilungen[Cor20]. Auch Rezeptionsroboter gibt es im Einsatz in Hotels, vermehrt in Japan. Dort haben Roboter kulturbedingt eine andere Stellung als Roboter in der westlichen Welt. Mehr dazu unter Punkt 'Akzeptanz von Robotern'. Ebenfalls im Servicebereich können Verkaufroboter eingesetzt werden, zum Beispiel der von Softbank Robotics gebaute Roboter 'Pepper'[PG18]. Pepper kann die Kunden grüßen, Bestellungen entgegennehmen und mit dem Kunden über Produkte im Sortiment sprechen. Natürlich sind diese Roboter beschränkt, was die Interaktion und die Konversation angeht, aber man merkt, in welche Richtung sich diese Technologie bewegt.

**Roboter in der Industrie:** Der erste Roboter der industriell eingesetzt wurde, war der Roboter 'Unimate'[Wik20h] von General Motors. Viele andere folgten in verschiedenen Bereichen, auch in der Medizin. Zum Beispiel der Roboter 'Renaissance' von Spine Robotics[ON14], der Ärzten bei Operationen an der Wirbelsäule helfen soll. Vom Unternehmen Stäubli's North American gibt es den Ansatz, Roboter auf voll Leistung arbeiten zu lassen. Falls sich eine Person dem Roboter nähern sollte, wird ein Alarm ausgelöst und der Roboter würde langsam stehenbleiben[Pri19]. Industrieroboter, wie der UR3 aus dieser Arbeit, dienen dazu, einfache und zeitintensive Arbeiten durchzuführen. Sortierung und Aussortierung von Produkten. Mit solchen Robotern und in verschiedenen Bauweisen, werden heutzutage vieler unserer Gebrauchsgegenstände hergestellt. Für unsere heutige Konsumgesellschaft sind Industrieroboter ein Stützpfiler.

**Roboter im Entertainment:** Lernroboter sollen Kindern helfen, schneller und einfacher zu lernen. Für die Entwicklung solcher Roboter, müssen sich Designer und Entwickler überlegen, wie ein Roboter auf ein Kind wirkt. Wie soll sich der Roboter verhalten in der Nähe des Kindes? Soll es mit dem Kind interagieren können? Wie soll der Roboter aussehen? Was soll er können? Pädagogische und psychologische Skills sind hier genauso gefragt wie Fantasie. Ein Roboter, der einem Kind Mathematik beibringen kann, wäre eine Erleichterung für jeden Elternteil. Der Vorteil ist hier nicht von der Hand zu weisen. Einen Lernroboter könnte man auch mit einem Spielzeugroboter kombinieren, so hätte man einen Gegenstand, welcher für das Kind Spiel- und Lernkamerad zugleich ist. Es gibt etliche Spielzeugroboter, die auf dem Markt sind, mal gute, mal weniger gute Exemplare. Ob heutige Spielzeugroboter einen wissenschaftlichen Mehrwert haben, ist zu bezweifeln, jedoch könnte man auch hier einen Mehrwert schaffen, indem man Daten aus solchen Robotern auswertet und Statistiken erstellt. Aufbauend auf dem Profil des Kindes können so zukünftige Ausbildungsentscheidungen getroffen werden. Wenn der Algorithmus im Spielzeug berechnet, dass das Kind künstlerisch begabt ist oder das räumliche Vorstellungsvermögen starkt ausgeprägt ist, hätte man vielleicht einen herausragenden Technikdesigner, der ansonsten Journalismus studiert hätte.

**Roboter in der Medizin:** Weiter oben wurde der Roboter 'Renaissance' von Spine Ro-

botics genannt, der bei Operationen an der Wirbelsäule helfen soll. Die Wirbelsäule ist die Stütze des Menschen, aber dennoch sehr fragil. Während einer Operation geht es um Millimeter - Millimeter die den Patienten entweder von einer erfolgreichen Operation oder von einer Körperlähmung trennen. Daher werden Roboter eingesetzt, die millimetergenau den Schnitt ansetzen können. Medizinroboter werden in zwei Kategorien unterteilt: passive und aktive Roboter. Passive Roboter werden vom Menschen bedient, hingegen werden aktive Roboter von einem internen System gelenkt und es gibt nur wenig Input vom Menschen. Ein passiver Roboter wäre zum Beispiel AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) von Computer's Motion. Dieser Roboter war ein über ein Fußpedal steuerbarer Arm für die Positionierung von Endoskopen bei Bauchspiegelungen. Später wurde eine Spracherkennung eingesetzt. Ein aktiver Roboter in der Medizin wäre zum Beispiel der ROBODOC, ein Roboter der Knochen scannt und abfräst, um Prothesen passgenau aufsetzen zu können[KBB17].

**Roboter auf der Straße:** Auch auf der Straße werden uns Roboter in Zukunft öfter begegnen. Autonome Fahrzeuge sind zurzeit bei jedem namhaften Herstellern in Entwicklung. Auch Tech-Firmen wie Apple (ehemaliges Projekt Titan und jetzige Tochterfirma drive.ai) und Google (Waymo) versuchen sich an dieser Technologie. Auch Uber forscht in diesem Bereich und hat einen traurigen Rekord aufgestellt: das erste Todesopfer in Verbindung mit einem autonomen Fahrzeug[Wik20c]. Tesla ist in diesem Bereich nicht Marktführer, generiert aber die meisten Zeitungsartikel über das autonome Fahren. Das autonome System kann das Auto selbständig parken, fahren, die Geschwindigkeit anpassen, blinken, überholen und wieder Einordnen ohne das Zutun des Fahrers[Inc20]. Aber auch hier gab es bereits erste Todesopfer. Die Technik selbst ist zwar ausgereift, aber Kinderkrankheiten des gesamten verteilten Systems sind immer noch vorhanden. Hier ist die Gesetzgebung hinterher und man sucht vergeblich nach einem schnellen Gesetzesentwurf, welcher zum Beispiel die Verantwortlichen bei einem tödlichen Unfall nennt.

**Roboter in der Landwirtschaft:** Im ältesten Wirtschaftsbereich der Menschheit, der Landwirtschaft, werden ebenfalls Roboter eingesetzt. Hier sind es (noch) keine humanoiden Roboter, sondern selbstfahrende Traktoren oder andere Formen wie der Unkrautbeseitiger 'Bonirob' von Bosch[RBD<sup>+</sup>09]. Einen Roboter, der die Ernte einfahren kann, und nämlich nur die Ernte die tatsächlich reif ist, bietet das Unternehmen Ripe Robotics an. Hierfür ist ein Algorithmus zuständig, der über Sensoren und Kameras lernt, reife Früchte von unreifen Früchten zu unterscheiden[HYH12]. Solche Roboter können das Ernten automatisieren und so die Ernte schneller zur Verfügung stellen und die unreife Ernte weiter reifen lassen. Es gibt immer mehr Menschen auf der Erde und der Lebensmittelbestand ist seit Jahrzehnten, sogar seit Jahrhunderten ungerecht verteilt. Durch ähnliche technologische Errungenschaften können Technologien wie diese, wenn sie dann auch für ärmere Länder erschwinglich werden, eine Revolution in der Landwirtschaft erzeugen, indem sie den Entwicklungsländern die Möglichkeit bieten, das Land einfach zu bearbeiten und durch die Erträge von Exporten eine gewisse Basis für die Zukunft des Landes zu schaffen.

**Roboter im Militäreinsatz:** Es ist vielleicht ein Horrorszenario wie das Skynet und den dazugehörigen Terminatoren aus James Cameron's 'Terminator'. Aber auch beim Militär werden Roboter und Drohnen immer öfter eingesetzt. Roboter werden an die vorderste Front geschickt und sollen Bomben und Feldminen aufspüren, im besten Fall auch entschärfen oder wenn nicht anders möglich frühzeitig sprengen[EEEE14]. Solche Roboter retten Hunderten Soldaten das Leben. Sie funktionieren meistens mit einem Controller oder Joystick, den ein Soldat bedient. Jedoch gibt es auch Roboter die mit einer KI ausgestattet werden. Droh-

nen zum Beispiel werden teilweise autonom betrieben. Das bedeutet, dass die Maschine ein Ziel erfasst und auf eine Bestätigung eines Menschen wartet, um eine Rakete abzufeuern. Irgendwann werden diese Roboter auch ohne das Zutun eines Menschen die Entscheidung treffen können: sobald die künstliche Intelligenz den Menschen überholt hat und eine gewisse Moralvorstellung entwickelt. Ob das so kommen wird oder nicht, kann nur die Zukunft beantworten. Hoffen wir, dass sich James Cameron nicht als Wahrsager entpumpt.

### 2.2.4 Akzeptanz von Robotern: soziale und psychische Faktoren

In Japan werden seit bereits mehreren Jahren Roboter in Altersheimen eingesetzt [KR15]. Japan setzt in diesem Bereich auf Roboter, da es eine sehr hohe Anzahl an Pensionisten hat, aber eine geringe Geburtenrate. Es gibt ebenso Hotels in denen Roboter Rezeptionisten, Pagen oder Türsteher sind, Menschen als Angestellte sind hier nicht zu finden [OEH<sup>+</sup>17]. Japan plant in den nächsten Jahren eine Stadt, die nur aus Robotern besteht, Roboterautos, Robotermüllabfuhr, Roboterpolizisten und Roboter im Krankenhaus [CC17]. In Japan werden Roboter besser aufgenommen, die Offenheit gegenüber neuen Technologien ist viel höher, da man aus der Geschichte und der Verslossenheit gegenüber Neuem und die negative Auswirkung auf Land und Wirtschaft gelernt hat, dass neue Errungenschaft der Wissenschaft und der Technik sehr wohl auch positive Auswirkungen haben können. Akzeptiert werden Roboter auch wegen der verbreiteten Shinto-Religion. Im Shintoismus kann alles eine Seele haben. Bäume, Gebäude, Berge, Seen, Steine, Metalle und daraus entstehenden Roboter ebenfalls. Wenn der Haushaltsroboter eine 'gute' Seele hat, dann empfängt man diesen auch mit offenen Armen.

Jedoch werden Roboter auch als negativ aufgenommen, vermehrt in der westlichen Welt. Auch wegen Filmen wie Terminator und iRobot - anders herum können uns Roboter einiges an Arbeit abnehmen, wie zum Beispiel der Staubsauger von iRobot oder Roboter die bereits als Küchenhilfen eingesetzt werden. In der Industrie sind Roboter nicht mehr wegzudenken und früher oder später, werden diese Hilfen auch in westlichen Haushalten im Einsatz sein - es beginnt mit einem Staubsauger-Roboter.

### 2.2.5 Gefahren Robotik

Die Gefahren der Robotik sind vielfältig und teilweise begründet. Ein Roboter funktioniert durch mechanische Teile und Stromzufuhr, die Leistung eines Roboters ist um ein Vielfaches höher als eines Menschen. Stellen wir uns nur eine mechanische Presse vor, die ein Auto zusammenpressen kann, ohne Druck zu verlieren. Daher müssen an Robotern Sensoren angebracht werden, zum Beispiel Infrarotsensoren oder Lichtschranken, damit ein Mensch erkannt wird und damit einem Menschen in der Nähe eines Roboters keine Gefahr droht. Aus persönlicher Erfahrung kenne ich ein Projekt mit autonomen Robotern, welches eingestellt wurde nach einem Unfall. Diese Roboter transportierten Paletten von Punkt A nach Punkt B. Sie waren mit Sensoren und Kameras bestückt. Das Projekt war gerade in der Testphase, die Konfiguration und die Anpassung der Maschinen waren dementsprechend noch im Gange, als einem Arbeiter ein selbstfahrender Roboter von hinten auf die Füße gefahren ist und dadurch zum Glück nur einen Achillessehnenriss verursachte - es hätte schlimmer enden können. Nach diesem Unfall wurde das Projekt eingestellt. Vor allem Roboter in Verbindung mit künstlicher Intelligenz jagt vielen Menschen Angst ein, es gibt auch hier gute Gründe, wenn auch die Angst teilweise der Filmwelt geschuldet ist. Wird ein Roboter je ein Bewusstsein entwickeln? Wenn ja, wird dieser Roboter Rechte einfordern? Falls dies auch zutrifft, wird der Roboter über dem Menschen gestellt sein, weil der Stärkere immer gewinnt? Das sind viele Fragen,

die uns in den nächsten Jahren und Jahrzehnten beschäftigen (sollten), da der Fortschritt keine Pause einlegt, bis wir soweit sind und uns damit auseinandersetzen werden wollen oder können.

### 2.3 Künstliche Intelligenz

#### 2.3.1 Geschichte und Medien

Auch hier ist der Gedanke einer künstlichen Intelligenz der Fantasie zuerst entsprungen, bevor wissenschaftliche Recherchen begannen.

Wer als Erster den Gedanken einer eigenständigen, nicht-humanen Intelligenz gehabt hat wird wohl nie geklärt werden können, da es vermutlich genug Quellen gibt, die verloren gegangen sind, entweder bei den vielen Bücherverbrennungen in der Geschichte der Menschheit oder beim großen Brand der Bibliothek von Alexandria. Ob nun die Tripods oder die goldenen Begleiter des Hephaistos, oder ob Pygmalians Skulptur aus den Gedichten des Ovids, oder die Annahme von Aristoteles aus seiner Schrift 'Politik', dass Gegenstände eine Aufgabe selber lösen können der erste Gedanke einer künstlichen Intelligenz war, kann wohl nur vermutet werden, da es sehr wohl sein kann, dass der Gedanke viel älter ist, ohne hinterlassene Abschriften dieser Gedanken. Auch Thomas Hobbes erwähnt in seinem Buch 'Leviathan' eine künstliche Intelligenz beziehungsweise stellt er die Frage, ob selbst bewegende Teile nicht bereits eine künstliche Intelligenz ist. Angelehnt an dem Herzen, welches einer Pumpe gleicht, diese aber einen Organismus antreibt, der intelligent ist. Historiker wie George Dyson nennen Thomas Hobbes als den Patriarchen der künstlichen Intelligenz.

Der Mathematiker Pierre-Simon Laplace[[Wik20g](#)] hat ebenfalls die Idee einer nicht menschlichen Intelligenz aufgegriffen, den Laplaceschen Dämon. Diese Überlegung besagt, dass wenn eine Intelligenz alle Informationen des Universums hätte, von den Bewegungen der Planeten und Sterne sowie von allen Atomkernen, dann wäre sowohl die Vergangenheit als auch die Zukunft bekannt. In den Medien, vor allem in Filmen kommt die künstliche Intelligenz nicht zu kurz. In Star Wars gibt es jede Menge solcher Figuren, aber auch im Klassiker '2001: A Space Odyssey' ist die Intelligenz HAL 9000 ein wichtiger Charakter. In Wirklichkeit sind solche Intelligenzen, auch starke KI genannt, noch weit entfernt, um mit einem Menschen zu kommunizieren, ohne dass der Mensch bemerkt, dass eine KI mit ihm kommuniziert. Sobald eine KI so weit fortgeschritten ist, dass in einer Kommunikation mit einem Menschen, der Mensch nicht unterscheiden kann, ob er mit einer KI oder mit einer Person spricht oder schreibt, ist der Turing-Test geschafft. Dieser Test entscheidet, ob ein Computer oder eine KI ein gleichwertiges Denkvermögen entwickelt hat, wie der Mensch. Es gibt jedoch sehr gute Ansätze wie zum Beispiel das System 'Duplex' von Google, welches Anrufe tätigen und Termine ausmachen kann, ohne dass die Person gegenüber merkt, dass es eine Maschine ist. Im Gegensatz zur starker KI, gibt es auch die schwache KI, die nur für bestimmte Zwecke konzipiert wurde und auch nur in gewissen Bereichen eingesetzt werden können[[Flo19](#)]. Ebenfalls gibt es KIs, die auf Spiele spezialisiert sind. Zum Beispiel AlphaGo von DeepMind, zweites hat 2016 den Profispieler Lee Sedol im Spiel Go geschlagen[[Wik20a](#)]. Oder auch Deep Blue von IBM, welches gegen den amtierenden Schachweltmeister Garry Kasparov 1997 in Schach gewonnen hat[[Wik20d](#)]. In Computerspielen ist die KI auch nicht mehr wegzudenken. Natürlich ist diese KI nicht vergleichbar mit einer KI die für wissenschaftliche Zwecke programmiert wurde. Eine Spiel-KI, zielt auf bestimmte Aspekte und Bewegungen ab. Eine Spiel-KI in einem FPS-Shooter, muss zielen und schießen, eine KI in einer Fußballsimulation muss angreifen bzw. Tore schießen aber auch verteidigen. Eine wissenschaftliche KI, soll frü-

her oder später den Turing Test bestehen, das würde in dem Fall eines Spiels eine KI sein, die man universell einsetzen könnte, da diese Intelligenz jede Regel eines Spiels in kürzester Zeit lernen würde - wie ein menschlicher Spieler.

### 2.3.2 Grundlagen und Funktionsweise

Künstliche Intelligenz ist eine Technologie, die sich als Vorbild den Menschen und seine Fähigkeit

- Neues zu lernen,
- Gelerntes zu verbessern,
- der (Wieder-)Erkennung von Objekten,
- des Verstehens und die Herstellung von Neuem und der Selbstoptimierung

als Grundlage nimmt, um ein autonomes System zu kreieren, welches dem Menschen nützlich sein soll. Man unterscheidet in diesem Bereich zwischen schwacher und starker KI[Flo19]. Eine schwache KI, ist eine die uns bekannt ist und uns teilweise tagtäglich begleitet, wie zB Alexa, Cortana oder Siri als Spracherkennungsassistenten. Jedes Automatisierungssystem könnte man als schwache KI bezeichnen, so auch die Rechtschreib- und Grammatikprüfung, die bei dieser Arbeit eingesetzt wurde, um Fehler automatisch zu erkennen und zu markieren. Unter schwacher KI fallen auch viele Anwendungen von Google wie zum Beispiel der Google Übersetzer, oder auch die Bilderkennungssoftware Google Lens, welche durch das einfache Hinhalten der Kamera eine Suche im Web auslöst und die Ergebnisse auflistet.

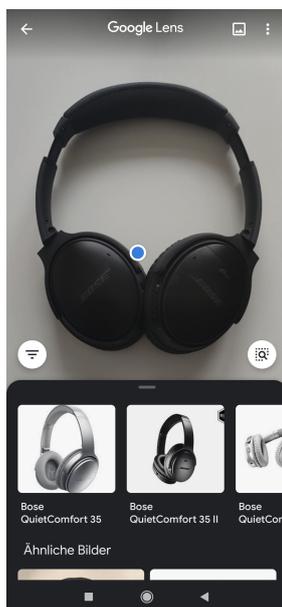


Abbildung 2.2: Google Lens: Suche nach Bose-Kopfhörern mittels Bilderkennung

Schwache KI wird auch in autonomen Fahrzeugen eingesetzt, um aus verschiedenen Situationen im Verkehr und aus gefährlichen Situationen zu lernen, damit die Fahrt sicherer wird. Dazu werden etliche Sensoren in ein großes verteiltes System integriert, deren Daten werden von einer KI ausgewertet und auf dieser Basis wird entschieden ob zum Beispiel die große Fläche vor dem Auto, der Himmel oder ein kreuzender LKW mit Anhänger ist. Zusammenfassend kann man sagen, dass eine schwache KI, eine Intelligenz ist, die sich nur auf wenige Disziplinen versteht, die nur wenige Sachen kann, dafür aber in diesem Bereich effektiv ist. Diese

## 2 Grundlagen

Intelligenzen können zwar kombiniert werden, dennoch wird es kein Gesamtsystem sein, sondern es werden Schnittstellen benötigt, um diese Systeme miteinander zu kombinieren. Diese Art von Intelligenz wird dem Menschen die Herrschaft nicht streitig machen.

Unter starker KI versteht man das, was man auch in Filmen unter KI versteht: eine selbstdenkende, selbstoptimierende, weitreichende und in verschiedenen Disziplinen einsetzbare Technologie. Eine starke KI gibt es zurzeit nicht am Markt. Es wird daran aber intensiv geforscht. Facebook arbeitet seit Jahren an solch einer Technologie. Es gibt aber etliche Kritiker, die davor warnen, diese Technologie ohne genaues Wissen über folgende Konsequenzen, ohne dass wir Gesetze und Regeln dafür aufgestellt haben, ohne dass wir uns darüber bewusst sind, was wir da eigentlich erschaffen und die Erforschung und Entwicklung gemäßiger anzugehen. Hier stellt sich auch die Frage: bis zu welchem Punkt kann die Menschheit eine Intelligenz, die weit schneller und weit detaillierter lernen kann als jeder Mensch auf dem Planeten, in Zaum halten und ihr Regeln vorgeben? Eine andere philosophische Frage stellt sich: wann entsteht ein Bewusstsein und ab wann gilt ein Bewusstsein als solches? Da wir aus Atomen bestehen die DNA-Stränge bilden, die wiederum Proteine bilden, die chemische Reaktionen auslösen und uns die Thematik des Bewusstseins immer noch schleierhaft erscheint, können wir nicht mit Sicherheit sagen, dass wenn wir eine starke künstliche Intelligenz erschaffen sollten, diese nicht auch ein Bewusstsein entwickeln wird - wir wissen es einfach nicht ob es dazu kommen wird, da wir es selbst noch nicht verstehen. Aber falls es denn so kommen sollte: werden dafür eigene Gesetze benötigt? Werden diese Intelligenzen auf Rechte hoffen können? Das sind interessante Fragen, deren Antwort diese Arbeit nicht geben wird und auch nicht geben kann, sondern sie soll nur aufzeigen, dass hier Klärungsbedarf besteht. Tatsache ist: ein funktionierender Roboter mit einer starken, funktionierenden KI wäre für die Menschheit ein Schritt nach Vorne, aber möglicherweise auch zehn nach Hinten.

Künstliche Intelligenz ist ein großes und spannendes Kapitel in dem sich zwei weitere Unterkapitel, bzw. Teilbereiche der künstlichen Intelligenz einordnen lassen. Machine Learning, welches Deep Learning miteinbezieht[Gé20].

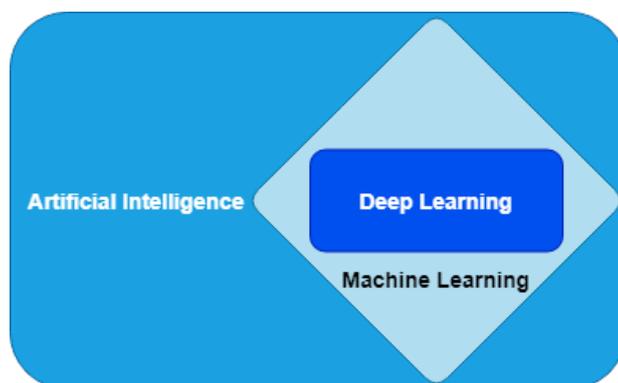


Abbildung 2.3: Ordnung KI, ML, DL [Gé20]

Die Struktur solcher Systeme ist stark an dem Neuronennetz des Menschen angelehnt. Durch verschiedene Schichten wird das Gelernte weitergegeben, es werden mit jeder Schicht immer mehr Verknüpfungen erstellt, sogenannte Knoten. Es ist ein sich ständig wiederholendes Muster, welches zur Selbstoptimierung dient. Ob das künstliche System alleine lernt oder durch Daten geführt wird, hängt davon ab, welche Methode angewendet wird: überwachtes, halbüberwachtes, unüberwachtes oder das Reinforcement Lernen, die letzte Methode basiert auf ein Belohnung-Bestrafungs-Konzept. Das Wort Lernen wird deshalb verwendet, weil es tatsächlich ein Lernen ist. So wie der Spruch 'Übung macht den Meister' beim Menschen eine

## 2 Grundlagen

wiederholende Tätigkeit Besserung bringen soll, so wird auch in einem KI-System eine Wiederholung einer Aufgabe viele Male durchgeführt und durch ein Soll-Wert abgeglichen. Wenn der Soll-Wert erreicht ist, ist das Modell fertig, falls der Soll-Wert aber nicht erreicht wurde, wird durch verschiedene Inputwerte der Vorgang wiederholt, bis der Soll-Wert erreicht wurde. Es hat die Logik einer Regelungstechnik, die sich selbst überwacht und sich selbst korrigiert, bis der Soll-Wert erreicht wird[Gé20].

Generell gilt, dass eine künstliche Intelligenz Erfahrung sammelt, indem sie durch Trainingsdaten trainiert wird, um ein Ergebnis zu optimieren und ein Ziels schneller zu erreichen. So wird das System durch viele Trainingsdurchgänge performanter und entwickelt sich weiter. Machine-Learning-Agents werden durch dieses Training immer besser. Um nun die Arbeits- und Funktionsweise des Systems zu testen, gibt es als Weiterführung der Trainingsdaten die Testdaten, die das System nach dem Training auf ein Problem testen soll. Es kommt jedoch durchaus vor, dass das System zu sehr auf die Daten des Trainings angepasst ist, wenn es zu viele Trainingsdurchgänge mit denselben Daten durchgeführt hat. Dieses Problem der Überanpassung führt dazu, dass das System andere Probleme nicht oder nur teilweise lösen kann, da es nur ähnliche Lösungswege zu bestimmten Problemen gelernt hat. Um dieses Problem zu lösen kann man das System kürzer trainieren oder die Menge an Trainingsdaten schlanker machen, damit die KI nur eine ungefähre Ahnung vom Ergebnis hat, aber der Lösungsweg offen bleibt.

## 3 Simulation und Ergebnis

### 3.1 Unity

Unity ist ein Programm mit dem 2D und 3D-Darstellungen kreiert werden können. Viele Spiele und Anwendungen wurden und werden immer noch mit diesem Programm erstellt. Die Bedienung ist nach kurzer Einführung recht einfach, dennoch sollte eine Programmiersprache beherrscht werden, in dem Fall von Unity C#. Um Modelle zu erstellen gibt es bereits vorgefertigte Vorlagen und Module, die man einem virtuellen Objekt hinzufügen kann, wie zum Beispiel die Eigenschaft der Anziehungskraft, diese kann man einstellen, je nachdem ob man ein Objekt auf der Erde, auf dem Mond oder auf dem Mars simulieren will. Außerdem können Audioelemente und Skripts hinzugefügt werden[Sei15]. Mehr dazu in den nächsten Kapiteln.

#### 3.1.1 Grundlagen und Funktionsweise

Grundsätzlich ist in Unity alles ein GameObject. Ein GameObject ist ein Element in der Anwendung, welches Parameter und Einstellungen enthält. Diese Elemente können sichtbar aber auch ausgeblendet sein. Um sich im Programm zurechtzufinden, gibt es verschiedene Bereiche, die die Aufgabe haben, das Programm zu strukturieren und die Bedienung zu vereinfachen. Hierfür gibt es auch verschiedene Layouts die verwendet werden können:

- **Hierarchie:** in diesem Bereich werden alle Objekte, die in der aktuellen Szene vorhanden sind aufgelistet. Es können neue Objekte erzeugt werden. Formen wie Würfel, Zylinder sind einfache Objekte die rasch erstellt sind und mittels Inspektor verändert werden können. Assets und Prefabs können in die Hierarchie gezogen werden aus dem Projekt Browser, die dann wie alles andere in der Hierarchie in der Scene View angezeigt werden.
- **Scene View:** Dieser Bereich zeigt unsere aktuelle Anwendung und alle Elemente die in die Hierarchie gezogen wurden. Objekte können verschoben, größer oder kleiner gezogen und gedreht werden. Im gleichen Bereich, nur ein Tab weiter gibt es die **Game View**, die uns das tatsächliche Spiel oder die Anwendung Live zeigt, sobald auf den oberen Play-Button gedrückt wird. Ebenfalls in diesem Bereich in einem weiteren Tab gibt es, je nach Einstellung, auch den Asset Store von Unity. In diesem Store kann man neue Assets, kaufen oder teilweise auch kostenlos erwerben, herunterladen und in das aktuelle Projekt importieren.
- **Inspektor:** Der Inspektor ist das Gehirn von Unity. Hier werden alle Einstellungen vorgenommen und es wird entschieden, wie ein GameObject reagieren und agieren soll. Es zeigt das ausgewählte GameObject, zeigt Parameter und aktuelle Komponenten an. Hier können alle benötigten Einstellungen vorgenommen werden, Komponenten können hinzugefügt werden wie zum Beispiel ein Rigidbody mit oder ohne Gravitation.
- **Projektbrowser:** zeigt alle Inhalte, die im jetzigen Projekt vorhanden sind. Von hier aus können Objekte in die Hierarchie gezogen werden. Die Konsole ist im gleichen

### 3 Simulation und Ergebnis

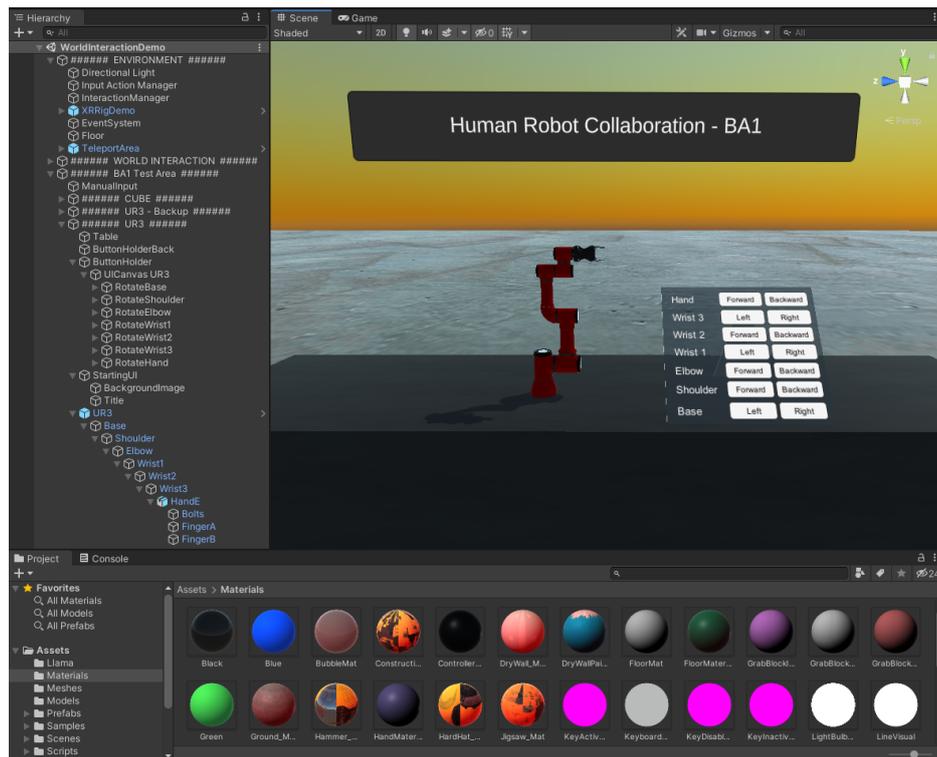


Abbildung 3.1: Hierarchie, Scene View und Projektbrowser in Unity

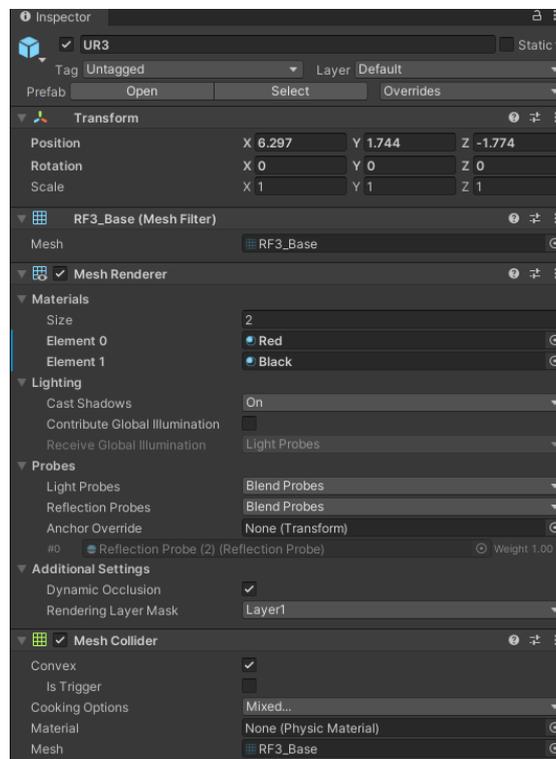


Abbildung 3.2: Inspector in Unity

Bereich in einem zweiten Tab vorhanden und gibt Fehler und Warnmeldungen aus.

Unity basiert und funktioniert mit Skripts, die einem Entwickler ermöglichen, das Objekt nach Belieben zu bewegen oder die Eigenschaften genauer festzulegen. Ein Skript ist ein einfaches Hilfsmittel, welches die Dynamik in die Anwendung bringt und Bewegungen bzw. Abfolgen von Ereignissen ermöglicht. Skripts werden in der objektorientierten Programmiersprache C# geschrieben. Früher wurde auch JavaScript unterstützt, aber seit 2017 JavaScript nicht mehr, da es wenige Entwicklungen basierend auf dieser Skriptsprache gab. Der zweite Grund war, dass man mit C# eine mächtige Sprache hat und damit nicht mehr zwei Compiler für zwei verschiedene Sprachen benötigt.

Da C# eine objektorientierte Programmiersprache ist, gibt es hier auch das Konzept der Vererbung. Ein Objekt ist die Basis jeder Klasse, ob es sich nun um GameObjects, ScriptableObjects oder Komponenten handelt. Von einem Objekt erbt ein GameObject wie zB die Kamera, ein Spieler oder jedes andere 3D-Modell aber auch die Komponenten-Klasse erbt von der Klasse Objekt. Alle Komponenten, die einem Objekt zugeordnet werden können, basieren auf der Komponenten-Klasse. Zum Beispiel kann eine Komponente Audio einem Objekt zugeordnet werden. Ein Audio besteht aus einem AudioClip, einer Audioquelle, welche wie Lautsprecher in einem Raum funktionieren, einem AudioListener, welcher wie unsere Ohren einen Sound aufnimmt und an die Endgerät weitergeben kann, zum Beispiel einem Lautsprecher am Laptop. Zusätzlich gibt es im Audibereich noch die ReverbZone, die den Halleffekt erzeugen und den Raum definieren kann. Je nachdem welche Eigenschaften der Raum besitzt, wird das Audio entsprechend wiedergegeben. Ein Audio in einem Raum voller Objekte mit Eigenschaften eines Kartons, wird sich klar ohne Echo anhören. Eine große Halle mit Steinwänden, wird die simulierten Schallwellen wieder zurückwerfen und einen Halleffekt entstehen lassen. Dies sind nur ein paar Beispiele wie Unity unsere Welt abbilden kann.

Diese Arbeit befasst sich nicht mit den etlichen Funktionen und Details von Unity, sondern nutzt einige dieser Funktionen um die Simulation eines Roboters zu simulieren. Unity ist ein mächtiges Instrument, Filme, Spiele und Anwendungen oder auch erste Entwürfe für Konzeptautos oder Gebäuden können erstellt werden. Der richtige Umgang damit ist natürlich wichtig und auf je mehr Entwicklungserfahrung zurückgegriffen werden kann, desto mächtiger wird dieses Werkzeug. Auch wenn die Erstellung erster Objekte leicht erscheinen mag, sollte man die Komplexität nicht unterschätzen, denn hier entstehen neue Welten und Umgebungen durch ein paar Klicks und Tastatureingaben. In der geübten Hand können Meisterwerke entstehen, siehe auch Unity's prämierten dystopischen Kurzfilm 'Adam'[Tec16].

#### 3.1.2 Schnittstelle für Machine Learning

Unity bietet eine ML-Schnittstelle an, die über den Asset Store zu finden ist. Im Paket 'ML-Agents Toolkit' ist eine Python API enthalten, welche sich als nützliche Programmiersprache im Bereich der künstlichen Intelligenz erwiesen hat. Es werden verschiedene Algorithmen mitgeliefert und auch Testumgebungen für einen einfachen Einstieg in die Thematik und für ein schnelles Testen der Applikation. Das mitgelieferte ML-Agents SDK beinhaltet drei verschiedene Elemente: Sensoren, Agents und eine Academy. Ein Agent ist ein GameObject in Unity, welcher durch den implementierten Algorithmus mit anderen Objekten und Agents interagieren kann und so seine gestellte Aufgabe erfüllen kann. Die Academy überwacht und überprüft sozusagen die Erfolge des Agents. Es wird als Singleton implementiert und kann die Parameter im Laufe der Simulation verändern, um dem KI-Agent herausfordernde Aufgaben zu geben, wenn Aufgaben erledigt und das Gelernte ein gewisses Level erreicht hat. Parameter können auch über im Toolkit enthaltene Python API geändert und eingegeben

werden und ebenfalls durch hinterlegte Skripte, die zum Beispiel eine Simulation bei bestandene Prüfung beendet. Das Python Package enthält eine Klasse `UnityEnvironment`, welche die Kommunikation zwischen Python und Unity gewährleistet, indem das gRPC Protokoll verwendet wird. Durch die Möglichkeit der parallelen Ausführung der Simulationen, kann so die Geschwindigkeit des Lernens erhöht werden und damit auch das schnellere Erreichen des Ziels.

Die Möglichkeit von sogenanntem Deep Reinforcement Learning Algorithmus (deep RL) bietet Unity ebenfalls an beziehungsweise kann so eine Art Algorithmus in Unity integriert werden. Diese Art des Lernens wird in Spielen erfolgreich eingesetzt, wenn ein lernender Bot verwendet wird. Die Funktion basiert auf einem Algorithmus, welcher einen Datensatz erhält, der nicht gekennzeichnet (labeled) ist. Der Algorithmus versucht durch Trial and Error eine Aufgabe zu bewältigen, diese Aufgabe wird solange durchgeführt, bis sie gelöst ist. Diese Art ist der sogenannte Reinforcement Learning Algorithmus. Zusätzlich wird ein Deep Learning Algorithmus verwendet, welcher komplexe Datensätze als Input hinzugefügt und die beste Antwort als Ergebnis liefert. Die Kombination dieser zwei Algorithmen ergibt einen mächtigen Algorithmus: dem Deep Reinforcement Learning Algorithmus. Es gibt verschiedene Simulatoren, die diesen Algorithmus anwenden, zum Beispiel Arcade Learning Environment (ALE), DeepMind Lab, Project Malmö, MuJoCo in Kombination mit OpenAI Gym und DeepMind Control Suite und auch `vizDoom`. viele dieser Simulatoren verwenden bereits verfügbare Spiele wie `Minecraft`, um den Algorithmus üben zu lassen. Erwähnenswert ist auch 'The Obstacle Tower', ein in Unity erstelltes Spiel, welches die Aufgabe hatte, deep RL-Algorithmen gegeneinander antreten zu lassen. Ziel des Spiels war, mit der Spielfigur durch die Spielwelt auf verschiedenen Stockwerken in einem Gebäude den letzten Raum jedes Stockwerks zu erreichen. Es gab etliche Fallen und Behinderungen, welcher der Spieler, in dem Fall der Algorithmus, ausweichen musste. Dies ist nur ein Beispiel wie Unity als Trainingsplatz für Algorithmen eingesetzt werden kann. [JBV<sup>+</sup>18].

Diese Arbeit soll als theoretische Grundlage für weitere Arbeiten dienen, auch für Erweiterungen mit Machine Learning-Algorithmen. Daher ist es geplant, dass diese Schnittstelle für die weitere Ausführung dieser Arbeit verwendet wird, um die Simulation bzw. auf der Grundlage der Simulation, einen Roboter eine Tätigkeit ausführen lässt, deren Bewegungen und Abläufe mittels einem Machine-Learning-Algorithmus gelernt wurden. Unter anderem wäre eine Implementierung geplant, die deep RL einsetzt, um zum Beispiel ein Objekt A auf ein Objekt B setzt, oder um Objekt A mit Objekt B durch eine Schraube verbindet und festzieht[[Sin19](#)].

## 3.2 Experiment

### 3.2.1 Einführung

Das Experiment ist eine Simulation eines Industrieroboters, genauer gesagt die Simulation des Tischroboter UR3 von Universal Robots in Unity mit der Integration von Virtual Reality. Die Vorlage für den UR3 bietet Unity in einer 3D Roboter Demo an[[Tec20](#)]. Der physische Roboter kann für etliche Tätigkeiten eingesetzt werden, wie zum Beispiel Schrauben an einem Produkt anbringen und festziehen, Teile von Station A nach Station B und weiter zu Station C bringen, Verpacken und Schichten von Produkten in Kartons und diese Kartons dann auf Paletten, Dispension und Farbe an Produkten aufsprühen, in gleichmäßigem Abstand und mit gleichmäßigem Tempo, Eigenschaften, die auch auch beim Schleifen und Polieren und auch beim Schweißen wichtig sind, Arbeiten, welche auch vom UR3 durchgeführt werden

können. Qualitätskontrollen können mit dem UR3 durchgeführt werden, da jedes Produkt, welches aus der Fertigungsstraße kommt, identisch mit dem Soll-Wert der Anforderung sein soll: der Roboter kann Abweichungen schnell und zuverlässig erkennen. Ein programmierter UR3 verfolgt Arbeitsmuster und -bewegungen, die eine virtuelle Umsetzung erleichtern, da sie berechenbar sind und der Rahmen, in dem der Prozess durchgeführt wird bekannt ist. Der UR3 wurde einerseits wegen dem vielfältigen Einsatzbereich, wegen der lokalen Platzierung ausgewählt, aber auch, weil Unity eine Roboter Demo basierend auf diesem Roboter auf GitHub anbietet[Teca]. Ein humanoider Roboter wäre für diese Art von Umsetzung nicht geeignet gewesen, da diese Art Roboter viel komplexer und zeitaufwändiger zu bauen sind, sowohl physisch, als auch virtuell. Bei einem Roboter mit Füßen, Händen, Oberkörper und Kopf, müssen alle Teile im Einklang sein und sich synchron verhalten. Jeder Teil eines Körpers kann sich auf jeder Achse des Koordinatensystem bewegen und hat eine eigene Aufgabe, die implementiert werden muss. Jeder weitere Teil eines Körpers bringt einen erhöhten Zeitaufwand mit sich. Der UR3 hat ebenfalls beweglich Teile, die sich synchron zueinander verhalten, dennoch bewegen sich diese Teile immer nur auf einer lokalen Achse des Koordinatensystems. Das bedeutet, dass sich ein Teil, welcher sich nur auf der X-Achse dreht, sehr wohl auch auf der Y-Achse bewegt, jedoch dann nur global, eben auf der Sicht des Users.

Unity wurde ausgewählt wegen der großen Community und den vielfältigen Assets, die es im hauseigenen Asset Store gibt. Es wurde ebenfalls ausgewählt, da eine XR Integration als Add-On vorhanden ist, die viele Aspekte der virtuellen Realität implementationstechnisch bereits abdeckt und bei der Konstruktion der Welten unterstützt. Oculus wird ebenfalls von Unity unterstützt, durch eine eigenes Add-On in der XR Integration, welches wiederum spezifische Funktionen und Modelle von Oculus mit sich bringt, was wiederum die Implementation vereinfacht, jedoch nur im Rahmen der Entwicklung für Oculus-Hardware.

Die verwendete Hardware, die auch für das Testen der Applikation verwendet wurde, war eine Oculus Quest von Facebook. Die Brille ist eine Standalone-Brille, die es dem User ermöglicht kabellos die installierten Applikationen auf dem internen Speicher oder Content aus dem Internet abzurufen und in die virtuelle Realität einzutauchen. Für die Bewegung im Raum ist ein in der Brille eingebautes IMU-System welches ein Gyroskop, einen Beschleunigungs- und Neigungssensor inkludiert. Dieses System erfasst die Bewegungen der Brille und somit die Bewegungen des Users im realen Raum, überträgt sie in die Applikation und suggeriert so dem User eine natürliche Bewegung im virtuellen Raum. In der Oculus Quest sind zusätzlich vier Weitwinkelkameras verbaut, die verschiedene Aufgaben erfüllen. Unter anderem die Erfassung der Umgebung aber auch die Erfassung der Hände, das sogenannte Handtracking. Mit Hilfe einer KI werden Bewegungen der Hände vorausberechnet und in der Brille ausgegeben, ohne dass Controller verwendet werden müssen. Für die Interaktion werden grundsätzlich aber Controller eingesetzt da diese verlässlicher und genauer in der Verarbeitung des Inputs sind, als das sich noch in der Entwicklungsphase befindendem Handtracking. In den Controller sind LEDs verbaut, die von der Brille erfasst werden können, müssen aber für ein korrektes Arbeiten sich vor der Brille befinden, damit die zwei Controller auch erfasst werden können.

#### 3.2.2 Simulation

Der UR3 besteht aus 6 verschiedenen, zusammenhängenden Teilen, die durch 5 Gelenke bzw. Rotoren in Bewegung gesetzt werden. Die Base ist der Teil, der den ganzen Roboter um die Y-Achse rotiert, dieser Teil sitzt auf den Teil des Roboters, der an einem Tisch oder an einer anderen festen Oberfläche befestigt wird. An der Base angehängt, ist die Schulter

(Shoulder). Dieser Teil neigt den Roboter exklusive der Base auf der Z-Achse, nach Vorne oder nach Hinten. Ebenfalls auf der Z-Achse neigt der Ellbogen (Elbow) den oberen Roboterteil nach Vorne oder nach Hinten, exklusive Base und Schulter. Das erste Handgelenk (Wrist1) bewegt sich um die Y-Achse und dreht den 'Kopf' des Roboters in Richtung oder gegen den Uhrzeigersinn, wie wenn man mit dem menschliche Kopf verneinen würde. Handgelenk Nummer 2 (Wrist2) neigt sich nach Vorne oder nach Hinten, wie ein JA, auf der Z-Achse. Das dritte Handgelenk (Wrist3) bewegt sich wiederum auf der Y-Achse und funktioniert bzw. bewegt sich wie das erste Handgelenk. Das einzige Element auf diesem Roboter, welches sich auf der X-Achse bewegt, ist die Hand, der schwarze Teil am Roboter, der sich rotieren lässt. Die Bewegung des Roboters erfolgt über Buttons[Teck], die jeweils ein hinterlegtes Skript haben und sich über dieses steuern lässt.

Für die Bedienung des Roboters wurde ein User Interface mit Buttons erstellt, welche durch einen Strahl aus dem Controller erfasst und geklickt werden können, die wiederum den Roboter in Gang setzt. Für jeden Teil des Roboters wurden zwei Buttons erstellt, die im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn den Roboter drehen können. Die Buttons selbst wurden auf einem Panel eingebunden, die an ein Plexiglas oder einer Glasfläche erinnern soll, diese Art wurde gewählt, damit die Leichtigkeit der Bedienung wiedergespiegelt wird. Auf dieser Fläche befinden sich auch Beschreibungen, welcher der Buttons den jeweiligen Teil des Roboters bedienen kann. Das Panel selbst wird gestützt von einem dahinter angebrachten zusätzlichem Rechteck vom gleichen Material wie das Panel selbst. Hier wurde auf die realitätsnahe Umsetzung geachtet, da dieses Panel in unserer physischen Welt umkippen würde, wenn keine Stütze dahinter wäre. So wird auch in der Simulation die Physik miteinbezogen - der User soll sich kann auf die Simulation konzentrieren und soll von physikalisch 'Unmöglichem' nicht irritiert werden.

Die gesamte Simulation befindet sich auf einem Tisch, welcher für eine natürliche Position des Roboters und des UI-Panels dienen soll.

Der Boden besteht aus einer rechteckigen Fläche, auf der man sich sowohl im Raum bewegen kann, als sich auch mit dem Controller beamen kann, die sogenannte Locomotion. Diese ermöglicht dem User sich überall auf dieser Fläche zu teleportieren, wenn der physische Raum zu knapp werden sollte.

Um dem User eine natürliche Umgebung zu bieten, wurde eine Lichtquelle im oberen Teil der virtuellen Welt eingestellt, diese soll die Sonne repräsentieren. Die Schatten die dadurch geworfen werden, sollen ebenfalls zur 'Echtheit' der Simulation beitragen. Die Schatten selbst können grob- oder feinkörniger eingestellt werden, je nach Bedarf. Natürlich verbraucht die Applikation mehr Ressourcen, je detaillierter der Schatten dargestellt wird. Der Schatten bewegt sich wie in der Realität mit der Bewegung des Roboters.

Für die Steuerung wurden die Controller von Oculus verwendet, die mit der Oculus Quest kabellos verbunden sind. Diese erzeugen zwei verschiedene Strahlen: ein Strahl ist der Strahl, welcher die Position nach der Teleportation anzeigt. Um diesen Strahl zu erzeugen, drückt man auf den Joystick, neigt und bewegt den Controller und den Joystick in die Richtung, in der Strahl zeigen soll. Beim Auslassen des Joysticks wird die Position ausgewählt und der User wird an dieser Stelle teleportiert.

Der zweite Strahl ist der Bedienungsstrahl. Dieser Strahl ist bereits vorhanden ohne eine Interaktion mit dem Controller. Die Anvisierung eines Buttons erfolgt wieder durch das Neigen und Bewegen des Controllers in die gewünschte Richtung. Sobald man einen Button anvisiert hat, drückt man den hinteren Trigger, der das Skript hinter diesem Button auslöst und so den Roboter in Bewegung bringt. Lässt man den Trigger gedrückt, bleibt der virtuelle Button aktiviert und der Roboter dreht sich im oder gegen den Uhrzeigersinn, je nach geklicktem

### 3 Simulation und Ergebnis

Button. Damit der Roboter nun wieder stehen bleibt, muss der Trigger ausgelassen werden. Erst nach erneutem Drücken des Triggers, dreht sich der Roboter wieder.

Das erwähnte Skript hinter jedem Button ist ein C# Skript, welches ausgeführt wird, solange der Button gedrückt gehalten wird. Jede Achse im Koordinatensystem hat ein eigenes Skript und dieses ist jedem Button hinterlegt, welcher den Roboter in diese Richtung dreht. Sobald der Button ausgelassen wird, wird auch das Skript nicht mehr ausgeführt. Ein Ausschnitt des Codes, welcher den Roboter auf der jeweiligen Achse dreht, sieht wie folgt aus:

---

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class TestRotateScriptDown : MonoBehaviour
{
    void Update()
    {
        // Rotate the object around its local X axis at 1 degree
        // per second
        transform.Rotate(Vector3.forward);
    }
}
```

---

Listing 3.1: Rotieren des Roboters an einer Achse

Das Greifen des Roboters durch den User ist nicht möglich, da dies keinen Mehrwert für die Simulation gebracht hätte. Auch das Greifen des UI-Panels wurde nicht implementiert, da dies für die Simulation selbst keine nützliche Funktion gewesen wäre. Die Funktion des Handtrackings, welches die Oculus Quest anbietet, wurde ebenfalls nicht in die Simulation eingebaut, auch wenn die Interaktion mit dem UI-Panels mit den eigenen Händen für den User einen psychischen Mehrwert gehabt hätte. Dennoch wurde darauf verzichtet, da sich die Erkennung der Hände durch die Weitwinkelkameras und der anschließenden Interpretation der KI, noch in der Entwicklungsphase befindet und es keinen Mehrwert für den Erfolg der Arbeit gebracht hätte.



Abbildung 3.3: Fertige Simulation des UR3 in Virtual Reality

## 4 Diskussion

### 4.1 Erkenntnisse

Durch die Arbeit in der virtuellen Realität wurde auch das Potential dieser Technologie vor Augen geführt. Die Verbindung der virtuellen Realität mit der Industrie ist ein Punkt, der einen erheblichen Vorteil mit sich bringen könnte, durch die Interaktion des Users mit der Maschine, die grundsätzlich eine hohe Investition erfordert. Um diese Maschinen keiner Person anzuvertrauen, die diese nicht bedienen kann, soll VR benutzt werden, um das Training des Mitarbeiters zu übernehmen. Für das Training selbst, benötigt man nur das Modell und die Funktion der Maschine oder des Roboters. Einerseits kann sich so der Mitarbeiter mit der Umgebung und der Apparatur in einer sicheren Umgebungen vertraut machen, andererseits können Daten extrahiert werden, die die Leistung des Mitarbeiters während des Trainings wiedergeben und diese gesammelt zu einer Besserung und Optimierung der Arbeitsweise verhelfen könnten. Noch ein großer Vorteil wäre die Extrahierung der Daten des Roboters in der virtuellen Welt und den Import in den realen Roboter. So können Stromkosten und Verschleiß gesenkt werden. Durch einen sogenannten 'digitalen Zwilling', kann ein physischer Roboter in der virtuellen Realität werden und alle Funktionen die der reale Roboter implementiert hat, auch in der virtuellen Welt implementiert werden. So können Funktionen vorab getestet und die Bedienung durch den User angepasst werden. Die gewonnenen Daten und im Training durchgeführten Änderungen und Anpassungen, können dem eigentlichen Roboter importiert werden.

Durch die Möglichkeit der virtuellen Welt kann somit die Sicherheit des Mitarbeiters und des Roboters erhöht werden. Das Training des Mitarbeiters und auch des Roboters können vereinfacht werden, wenn ML inkludiert wäre. Die Kosten für die Wartung und die Stromkosten könnten niedrig gehalten werden. Der Roboter braucht für die Bedienung durchgehend Strom, sei es Starkstrom, gewöhnlicher Haushaltsstrom oder auch aus einer Batterie. Eine VR-Brille wird entweder durch einen PC mit Strom versorgt oder batteriebetrieben, wie in dieser Arbeit die verwendete Standalone-Brille, die eine eingebaute Batterie hat. Diese Standalone-Brillen werden so konzipiert, dass sie stromsparend arbeiten (so gut es geht), damit die Batterie so lange wie möglich hält. Prototypen könnten ebenfalls zuerst in der virtuellen Welt gebaut, die Funktionen getestet und optimiert, die Teile angepasst und die Funktionsweise optimiert werden, bevor die Maschine überhaupt gebaut wird. Hier hat man den Vorteil, das Objekt vor sich zu haben, es zu drehen, in die Hand zu nehmen und nur mit ein paar Klicks die Farbe und Form zu ändern. So können etwaige Enttäuschungen nach dem Bau vermieden werden. Dieser Punkt hat massive Vorteil, da hier mit geringen Kosten (da kein vorzeitiger Bau), Kinderkrankheiten neuer Maschinen und auch designtechnische Probleme im Voraus erkannt und behoben werden können.

Ein weiterer Vorteil der virtuellen Realität ist die Symbiose zwischen dieser mit Algorithmen beziehungsweise die Entwicklung und Optimierung dieser. Hier können ML-Agents, DL-Algorithmen trainieren und dem User in der virtuellen Realität das Ergebnis näher bringen, als es auf einem Bildschirm möglich wäre. Ein entscheidender Vorteil ist, dass diesen Systemen bei Laufzeit vom interagierenden User neue Trainingsdaten zur Verfügung gestellt

werden, neue Hindernisse in den Weg gestellt werden können und so neue Lösungswege durch das System gesucht werden müssen.

### 4.2 Herausforderungen und Lösungen

Es gab in dieser Arbeit viele Herausforderungen, da jeder Teil der Arbeit ein unbekanntes Terrain war. Mit Unity und C# wurde bis zu dieser Arbeit nicht gearbeitet, was ein Problem dargestellt hat. Bereits vorhandene Kenntnisse und Erfahrungen können in diesem Bereich die Entwicklungszeit erheblich verringern oder erhöhen. Die Arbeit mit Robotern und auch das Verständnis war nicht gegeben. Die Funktionsweise, die Wichtigkeit einiger Aspekte waren genauso unbekannt, wie das Einsatzgebiet der Technologie. Die Implementation einer Virtual Reality Applikation war demnach aber auch eine gute Erfahrung und es konnten viele interessante Bereiche neu entdeckt werden, die wiederum für das Verständnis dieser Thematik wertvoll sind und waren. Einige dieser Probleme, die im Laufe dieser Arbeit entstanden sind, sind nun aufgelistet:

**Joints:** ein großer Punkt, war die Verbindung des Roboters in der virtuellen Realität. Da der Roboter aus verschiedenen Teilen besteht und sich diese Teile gemeinsam in eine Richtung bewegen müssen, musste die Frage der Verbindung zwischen dieser Teile beantwortet werden. Es wurden verschiedene Methoden versucht, die Vorteile und auch Nachteile hatten. Es wurde versucht, den Roboter über ArticulationBodies zu verbinden. Ein Articulationbody benötigt immer einen Ausgangswert und einen aktuellen Wert. Dieser Wert ist die Position im Raum. Da die Teile verbunden werden müssen, waren Joints notwendig, die diese Teile verbinden. Es gab das Problem, dass der aktuelle Stand laufend gespeichert werden musste, damit der Roboter die Position im Raum kennt. Dieses Problem wurde durch Verzicht auf ArticulationBodies gelöst und nur durch Implementierung von Joints umgesetzt.

**Steuerung des Roboters per Tastatur:** eine weitere Frage war, wie der Roboter gesteuert werden soll. Über eine virtuelle Tastatur war der erste Versuch. Diese Idee wurde aber verworfen, da eine virtuelle Tastatur zwar einen Erfolg gebracht, das Erlebnis dadurch aber an Spektakel verloren hätte. Eine weitere Idee war, den Roboterr durch nach unten drückbaren Buttons zu steuern, die jedoch durch erhöhtem Programmieraufwand als nicht relevant betrachtet wurde. Daher wurden einfache UI-Buttons gewählt, die das Steuern einfacher und intuitiver machten.

**Bewegung des Users:** Bei der Bewegung des Users im Raum, wurden ebenfalls mehrere Varianten durchgedacht und -probiert. Da es in der virtuellen Realität verschiedene Arten der Fortbewegung gibt, aber auch viele dieser Arten die Motion Sickness auslösen können, wurden einige diese Bewegungsarten wieder verworfen, wie zum Beispiel die durchgehende Bewegung im Raum, welche durch den Joystick gesteuert wird. Auch eine nur auf die Bewegung im realen Raum basierende Bewegung, wurde in Betracht gezogen, da aber nicht jeder User so viel Raum hat um sich zu bewegen, da die Applikation voraussichtlich in den eigenen vier Wänden ausgeführt wird und der Bewegungsraum begrenzt ist, wurde auf diese Art der Bewegung verzichtet und es wurde die Bewegung durch Teleportation implementiert.

**Oculus VR Integration:** ein weiter Rückschlag war, als nach dem fertigen Bau des Roboters in Unity, die Oculus VR Integration installiert wurde. Nach der Installation erschien in der Brille ein Black Screen, welcher nicht nicht mehr entfernt werden konnte. Es wurden

verschieden Versuche unternommen, den Black Screen zu entfernen, es gab wohl eine Kollision der verschiedenen Add-Ons die integriert wurden. Nach mehrmaligem Versuch, das Projekt zu retten, wurde ein Forumbeitrag im Unity-Forum gefunden, welcher darstellte, dass die Integration und Kombination von Unity XR und Oculus VR Integration in wenigen Fällen einen Black Screen auslöst. Es handelt sich nach dem Beitrag um einen internen Unity-Bug der bekannt war, der aber nicht gelöst werden konnte. Nach diesem enttäuschendem Ergebnis, wurde das Projekt neu aufgesetzt und die Add-Ons nochmal auf grüner Fläche eingespielt. Erst nach erfolgreichem Import der Add-Ons, wurde der Roboter neu importiert und alle bereits erstellten Teile aus dem fehlerhaften Projekt ins neue Projekt importiert.

**Sonstige Ausrüstung:** Oculus bietet über einen USB-C Kabel die Möglichkeit, die Oculus Quest direkt mit dem PC zu verbinden. Inhalte auf dem PC werden durch eine Oculus-App an die Brille per Stream gesendet. Somit können stark ressourcenverbrauchende Programme auf der Brille gestreamt werden. Unity bietet ebenfalls die Möglichkeit, das Programm in Unity laufen zu lassen und einen Stream an die Brille zu senden, ohne dass eine veränderte Applikation auf der Brille installiert werden muss. Leider war die vorhandene Hardware nicht für eine VR-Applikation ausgelegt, daher konnte über die Oculus-App kein Stream gestartet werden. Auch Unity konnte keine Verbindung zur Brille herstellen um einen Stream zu starten. Daraus resultierte das Problem, dass bei jedem Test und bei jeder Änderung die .apk-Datei neu auf dem HMD installiert werden musste, was einen erheblichen zeitlichen Mehraufwand mit sich brachte.

## 5 Verwandte Arbeiten

### 5.1 VRGym

Ein ähnliche Arbeit ist das Projekt VRGym, welches an der University of California, Los Angeles durchgeführt wurde. In diesem Projekt wurde nicht Unity als Editor verwendet, sondern das Programm Unreal Engine 4. Dieses Projekt setzt auf ein eigenes Roboter-Betriebssystem, ROS (Roboter Operating System) genannt. Durch einen erhöhten Realismus in der Anwendung, soll sich der User schneller und einfacher in der virtuellen Welt zurechtfinden. Durch verschiedene Sensoren und Kameras wird der Körper des Users in die virtuelle Realität projiziert, damit der User seinen eigenen Körper und seine gewohnten Körpermaße im Spiel oder in der Anwendung hat. Verschiedene Materialien und Objekte wurden mit dem Editor erstellt, damit der User damit interagieren kann. Es wurden verschiedene Inputmöglichkeiten verwendet, wie der Oculus Touch Controller, die Hand des Users, dessen Handbewegung durch eine spezielle Kamera in VR nachgeahmt wurde oder auch mit einem speziellen Datenhandschuh. Auch die Interaktion mit einem Roboter war Teil dieses Projekts, indem der User einem Roboter die Hand geben konnte oder mit der Hand winken konnte und der simulierte Roboter die Geste erwiderte. Das Projekt hatte vier wichtige Punkte, die es erreichen sollte:

1. die Vorhersage der Gesten und Interaktionsabläufen des Users,
2. die soziale Interaktion mit dem eingebauten Roboter,
3. die Funktionsweise und Funktionstüchtigkeit des Algorithmus und
4. das Testen der Lernbereitschaft und -möglichkeit des Roboters durch die Aktionen des Users[XLZ<sup>+</sup>19].

### 5.2 UnrealROX

Auch für dieses Projekt wurde Unreal Engine verwendet, um eine fotorealistische Umgebung in Virtual Reality zu erstellen. Ziel des Projekts war es, Daten aus den Bewegungen des Users zu extrahieren. Der User sollte Arbeiten verrichten, die ein Roboter in der Realität durchführen sollte. Dieser Roboter sollte nicht programmiert werden, damit die Tätigkeiten erledigt werden, sondern durch die vorherige Aufnahme des Users, während er diese Tätigkeiten in der virtuellen Realität durchführt und dem anschließenden Export aus Unreal Engine und dem Import in den Roboter, sollen so die Programmierzeiten wegfallen. Der hyperrealistische Raum sollte nur dem User dienen, damit er sich schneller und einfacher im Raum zurechtfindet. Um so viel wie mögliche Daten zu erhalten, wurden verschiedene Technologien eingesetzt, wie zum Beispiel ein Tiefensensor, Ermittlungen der RGB-Werte. Auch wurden verschiedene Objekte erstellt, damit der Roboter später weiß, wie das Objekt richtig angegriffen werden soll[MGOGG<sup>+</sup>20].

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war eine Robotersimulation in Virtual Reality zu implementieren und den Roboter bedienen zu können. Um dieses Ziel zu erreichen wurde Unity als Entwicklungsplattform verwendet und eine Oculus Quest wurde für das Testen der Applikation verwendet.

Die verschiedenen technologischen Bereiche, die für das Verständnis der Materie und für die Umsetzung der Applikation nötig waren, wurden in der Einleitung zusammenfassend erläutert. Das Verständnis dieser Bereiche ist daher wichtig, weil auf diese Arbeit aufbauend, eine Unity-Schnittstelle verwendet werden soll, die die Integrierung einer KI ermöglichen soll.

Es wurden auch die verschiedenen Möglichkeiten dieser Technologien erwähnt und auch der heutige und zukünftige Einsatz von Virtual Reality, künstlicher Intelligenz und Robotern sowohl in der Industrie 4.0, als auch in Bereichen wie in der Medizin, in der Forschung oder im Verkehr und im Alltag.

## 7 Ausblick

Aufbauend auf das nun vorhandene Wissen und die erfolgte Recherche, soll weiters eine Implementierung einer KI durch eine Schnittstelle, die Unity zur Verfügung stellt, erfolgen. Hierfür gibt es im aktuellen Masterstudiengang 'Software Design and Engineering' an der FH Campus Wien, ein Projekt, welches sich mit diesem Thema befasst und verschiedene Algorithmen testet. Es ist geplant, dass aus dieser Masterarbeit eine KI ausgewählt wird und durch die Unity-Schnittstelle diesem Projekt zur Verfügung gestellt wird. Durch diesen Deep Learning-Algorithmus soll später ein Roboter eine Tätigkeit selbstständig ausführen können, welche immer wieder wiederholt wird, bis die Ausführung der Tätigkeit gelingt. Hierfür wird entweder die KI implementiert und es werden Testläufe durchgeführt, oder aber es erfolgt eine Vorarbeit und Vorbereitung aller nötigen Elemente und Schnittstellen für weitere Projekte, basierend auf dieses.

Ein auf die generelle Entwicklung von Algorithmen ausgeweiteter Ausblick, wäre die Optimierung von Deep-Reinforcement-Learning-Algorithmen, ähnlich dem genannten Algorithmus aus 3.1.2 [Sin19], ob in VR oder in einer physischen Umgebung mit einem physischen Roboter. Diese Technologie könnte die Industrie revolutionieren und die "Fabrik ohne Licht" könnte die Fabrik mit Mitarbeitern in den nächsten Jahren ablösen.

# Literaturverzeichnis

- [ABA05] Katherine August, D. Bleichenbacher, and Sergei Adamovich. Virtual reality physical therapy: A telerehabilitation tool for hand and finger movement exercise monitoring and motor skills analysis. In *Bioengineering Conference, 2005. Proceedings of the IEEE 31st Annual Northeast*, 2005. 4
- [ASA15] Hosny Abbas, Samir Shaheen, and Mohammed Amin. Simple, flexible, and interoperable scada system based on agent technology. *Intelligent Control and Automation (ICA)*, 2015. 5
- [Ass09] Robotic Industries Association. Robot terms and definitions. <https://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm/Robotic-Industries-Association/Robot-Terms-and-Definitions/productid/2953>, 2009. Last accessed 15 December 2020. 6
- [BBS<sup>+</sup>01] Richard Boyle, Cynthia Bruyns, Jeffrey Smith, Simon Wildermuth, and Alexander Twombly. Nasa virtual glovebox (vgx) - advanced astronaut training and simulation system for life science experiments aboard the international space station. In *2001 Conference and Exhibit on International Space Station Utilization*, 2001. 4
- [Ber18] Mehmet Ilker Berkman. *History of Virtual Reality*. Springer International Publishing, 2018. 3
- [CC17] Steve Crowe and Steve Crowe. Robot city being built in japan. [https://www.roboticsbusinessreview.com/rbr/robot\\_city\\_being\\_built\\_in\\_japan/](https://www.roboticsbusinessreview.com/rbr/robot_city_being_built_in_japan/), 2017. Last accessed 15 December 2020. 9
- [CM17] Eftychios Christoforou and Andreas Mueller. Robot and robotics: The origin and beyond. In *International Conference on Robotics in Alpe-Adria Danube Region*, 2017. 5
- [CNSD<sup>+</sup>92] Carolina Cruz-Neira, Daniel Sandin, T. Defant, Robert Kenyon, and John Hart. The cave-audio visual experience virtual environment. *Communications of The ACM - CACM*, 1992. 3
- [Cor20] Mitsubishi Electric Corporation. Mitsubishi electric news releases mitsubishi electric's new technology controls in-building mobilities and facilities, supported with building dynamic maps. <https://www.mitsubishielectric.com/news/2020/0204-a.html>, 2020. Last accessed 15 December 2020. 7
- [DHL14] DHL. Augmented reality - changing the way we see logistics. <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/thought-leadership/trend-reports/augmented-reality.html>, 2014. Last accessed 15 December 2020. 4
- [EEEB14] Ahmed Ebada, Mohammed Elmogy, and Hazem El-Bakry. Landmines detection using autonomous robots: A survey. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, 2014. 8

- [Flo19] J. Flowers. Strong and weak ai: Deweyan considerations. In *AAAI Spring Symposium: Towards Conscious AI Systems*, 2019. 10, 11
- [Gri16] Michael Grieves. Origins of the digital twin concept. *Florida Institute of Technology / NASA*, 2016. 5
- [Gé20] Aurélien Géron. *Praxiseinstieg Machine Learning mit Scikit-Learn, Keras und TensorFlow, 2nd Edition*. O'Reily, 2020. 12, 13, 31
- [HYH12] Lvwen Huang, Simon Yang, and Dongjian He. Abscission point extraction for ripe tomato harvesting robots. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 2012. 8
- [Ijs06] Wijnand Ijsselsteijn. *History of Telepresence*. John Wiley & Sons, 2006. 3
- [Inc20] Tesla Inc. Fahren in der zukunft. [https://www.tesla.com/de\\_AT/autopilot](https://www.tesla.com/de_AT/autopilot), 2020. Last accessed 15 December 2020. 8
- [JBV<sup>+</sup>18] Arthur Juliani, Vincent-Pierre Berges, Esh Vckay, Yuan Gao, Hunter Henry, Marwan Mattar, and Danny Lange. Unity: A general platform for intelligent agents. *ArXiv*, 2018. 17
- [KAL19] Abhinav Kulshreshth, Abhineet Anand, and Anupam Lakanpal. Neuralink-an elon musk start-up achieve symbiosis with artificial intelligence. In *2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*, 2019. 6
- [KBA<sup>+</sup>16] Wee Khor, B. Baker, Kavita Amin, Adrian Chan, Ketan Patel, and Jason Wong. Augmented and virtual reality in surgery-the digital surgical environment: Applications, limitations and legal pitfalls. *Annals of Translational Medicine*, 2016. 4
- [KBB17] Hruday Kasina, M V A Raju Bahubalendruni, and Rahul Botcha. Robots in medicine: Past, present and future. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering*, 2017. 8
- [KN13] Ahmed Karim and Birbaumer N. *Motorische Neuroprothesen*. Thieme Verlag, 2013. 6
- [KR15] Florian Kohlbacher and Benjamin Rabe. Leading the way into the future: The development of a (lead) market for care robotics in japan. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 2015. 9
- [LaV19] Steven M. LaValle. *Virtual Reality*. Cambridge University Press, 2019. 4
- [MGOGG<sup>+</sup>20] Pablo Martinez-Gonzalez, Sergiu Oprea, Alberto Garcia-Garcia, Alvaro Jover-Alvarez, Sergio Orts, and José Rodríguez. Unrealrox: an extremely photorealistic virtual reality environment for robotics simulations and synthetic data generation. *Virtual Reality journal*, 2020. 24
- [MW09] Robin Murphy and David Woods. Beyond asimov: The three laws of responsible robotics. *Intelligent Systems, IEEE*, 2009. 5
- [Nab13] Helmut Naber. *Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente*. Springer-Verlag, 2013. 6
- [Nil09] Nils J. Nilsson. *The Quest for Artificial Intelligence*. Cambridge University Press, 2009. 5, 6, 31
- [OEH<sup>+</sup>17] Hirotaka Osawa, Arisa Ema, Hiromitsu Hattori, Naonori Akiya, Nobotsugu Kanzaki, Akinori Kubo, Tora Koyama, and Ryutaro Ichise. Analysis of robot hotel: Reconstruction of works with robots. In *2017 26th IEEE International*

- Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 2017. 9
- [OGK<sup>+</sup>18] Manuel Olbrich, Holger Graf, Jens Keil, Rüdiger Gad, Steffen Bamfaste, and Frank Nicolini. *Virtual Reality Based Space Operations – A Study of ESA’s Potential for VR Based Training and Simulation*. Springer Verlag, 2018. 4
- [ON14] Mehmet Oenen and Sait Naderi. Robotic systems in spine surgery. *Turkish neurosurgery*, 2014. 7
- [PG18] Amit Kumar Pandey and Rodolphe Gelin. A mass-produced sociable humanoid robot: Pepper: The first machine of its kind. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2018. 7
- [PMR<sup>+</sup>18] Quang Cuong Pham, Radhamadhavan Madhavan, Ludovic Righetti, William Smart, and R. Chatila. The impact of robotics and automation on working conditions and employment [ethical, legal, and societal issues]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2018. 1
- [Pri19] C.J. Prince. Can robots replace humans? just ask elon musk. <https://www.shrm.org/resourcesandtools/hr-topics/technology/pages/can-robots-replace-humans-just-ask-elon-musk.aspx>, 2019. Last accessed 15 December 2020. 7
- [RBD<sup>+</sup>09] Arno Ruckelshausen, Peter Biber, Michael Dorna, H. Gremmes, Ralph Klose, Andreas Linz, R. Rahe, Rainer Resch, M. Thiel, Dieter Trautz, and Ulrich Weiss. Bonirob: An autonomous field robot platform for individual plant phenotyping. *Precision Agriculture*, 2009. 8
- [RRH<sup>+</sup>17] Albert Rizzo, Michael Roy, Arno Hartholt, Michelle Costanzo, Krista Highland, Tanja Jovanovic, Seth Norrholm, Christopher Reist, Barbara Rothbaum, and Joann Difede. *Virtual Reality Applications for the Assessment and Treatment of PTSD*. Springer Verlag, 2017. 4
- [Sei15] Carsten Seifert. *Spiele entwickeln mit Unity 5: 2D - und 3D-Games mit Unity und C# für Desktop, Web & Mobile*. Hanser, 2015. 14
- [Sin19] Avi Singh. End-to-end deep reinforcement learning without reward engineering. <https://robohub.org/end-to-end-deep-reinforcement-learning-without-reward-engineering/> 2019. Last accessed 15 December 2020. 17, 26
- [Teca] Unity Technologies. Unity-technologies/articulations-robot-demo. <https://github.com/Unity-Technologies/articulations-robot-demo>. Last accessed 15 December 2020. 18
- [Tech] Unity Technologies. Unity-technologies/xr-interaction-toolkit-examples. <https://github.com/Unity-Technologies/XR-Interaction-Toolkit-Examples>. Last accessed 15 December 2020. 19
- [Tec16] Unity Technologies. Adam. <https://unity3d.com/de/pages/adam>, 2016. Last accessed 15 December 2020. 16
- [Tec20] Unity Technologies. Robotic simulation. <https://unity.com/solutions/automotive-transportation-manufacturing/robotics2>, 2020. Last accessed 15 December 2020. 17
- [Tza06] Costas Tzafestas. *Virtual and Mixed Reality in Telerobotics: A Survey*. In-techOpen, 2006. 5

## Literaturverzeichnis

- [Wik20a] Wikipedia. AlphaGo versus Lee Sedol, 2020. Last accessed 15 December 2020. 10
- [Wik20b] Wikipedia. Apollo Lunar Module, 2020. Last accessed 15 December 2020. 5
- [Wik20c] Wikipedia. Death of Elaine Herzberg, 2020. Last accessed 15 December 2020. 8
- [Wik20d] Wikipedia. Deep Blue versus Kasparov, 1996, Game 1, 2020. Last accessed 15 December 2020. 10
- [Wik20e] Wikipedia. Forte VFX1, 2020. Last accessed 15 December 2020. 3
- [Wik20f] Wikipedia. Golem, 2020. Last accessed 15 December 2020. 5
- [Wik20g] Wikipedia. Laplacescher Dämon, 2020. Last accessed 15 December 2020. 10
- [Wik20h] Wikipedia. Unimate, 2020. Last accessed 15 December 2020. 7
- [Wik20i] Wikipedia. Virtual Boy, 2020. Last accessed 15 December 2020. 3
- [XLZ<sup>+</sup>19] Xu Xie, Hangxin Liu, Zhenliang Zhang, Yuxing Qiu, Feng Gao, Siyuan Qi, Yixin Zhu, and Song Zhu. Vrgym: a virtual testbed for physical and interactive ai. *Proceedings of the ACM Turing Celebration Conference - China*, 2019. 24

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Replika aus 1998 der Ente von Jacques de Vaucanson [Nil09] . . . . .	6
2.2	Google Lens: Suche nach Bose-Kopfhörern mittels Bilderkennung . . . . .	11
2.3	Ordnung KI, ML, DL [Gé20] . . . . .	12
3.1	Hierarchie, Scene View und Projektbrowser in Unity . . . . .	15
3.2	Inspektor in Unity . . . . .	15
3.3	Fertige Simulation des UR3 in Virtual Reality . . . . .	20