

Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

Sinnvolle Anwendung von künstlicher Intelligenz mit der Technik
des maschinellen Lernens für den Einsatz eines Industrieroboters in der
Bandmontage der Automobilindustrie

Verfasser: Elias Oswald

Erstprüfer: Prof. Dr. Jürgen Bock

Zweitprüfer: Prof. Dr. Alexander Schiendorfer

Ausgabetermin: 17.05.2022

Abgabetermin: 20.10.2022

Inhaltverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
1 Einleitung.....	4
2 Theoretische Grundlagen.....	6
2.1 Industrie 4.0 und Smart Factories.....	6
2.2 Montageablauf in der Fertigung.....	9
2.3 Industrieroboter.....	9
3 Künstliche Intelligenz.....	14
3.1 KI-Typen und Aufbau.....	15
3.2 Anschauungsbeispiel für den Einsatzgebiete.....	18
3.3 Maschinelles Lernen.....	20
3.4 Algorithmen für KI.....	25
3.5 Deep Learning.....	27
3.6 Neuronale Netze.....	28
3.7 Umsetzung in der Montage.....	35
4 Robotik und Sensorik mit KI.....	36
5 Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel.....	39
6 Fazit.....	53
Anlage A.....	54
Literaturverzeichnis.....	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 6-Achs-Knickarmroboter	11
Abbildung 2: Freiheitsgrade eines Körpers	12
Abbildung 3: Achsen eines Knickarmroboters	13
Abbildung 4: Koordinatensystem Roboter	14
Abbildung 5: Aufbau einer KI	17
Abbildung 6: KI und ihre Untergruppierungen.....	21
Abbildung 7: Überwachtes Lernen	22
Abbildung 8: Unüberwachtes Lernen.....	23
Abbildung 9: Bestärkendes Lernen	24
Abbildung 10: Baumstruktur	26
Abbildung 11: Lineare Regression	26
Abbildung 12: Support Vektor Machine.....	27
Abbildung 13: Neuronale Netze Funktionsweise	29
Abbildung 14: Gewichtung Neuronen.....	30
Abbildung 15: Berechnung Neuron 3	30
Abbildung 16: Aktivierungsfunktion.....	30
Abbildung 17: Darstellung komplettes neuronales Netz	31
Abbildung 18: Recurrent Neural Network.....	33
Abbildung 19: Aufbau eines CNN	34
Abbildung 20: Convolutional Neural Network	34
Abbildung 21: Anwendung eines CNN	35
Abbildung 22: Funktion Sensor	39
Abbildung 23: Mobiler Manipulator.....	43
Abbildung 24: Baumstruktur-Fahrzeugtyp	44
Abbildung 25: Bild Audi S3	45
Abbildung 26: Entfernung der Modellbezeichnung (Bsp.: Audi S3)	46
Abbildung 27: Algorithmus für Schraubenentnahme	47
Abbildung 28: Anordnungsmöglichkeit	48
Abbildung 29: Baumstruktur Schraube anziehen.....	50
Abbildung 30: Drehmoment Kurve	51
Abbildung 31: Algorithmus Schlauchabziehen	52

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

KI	Künstliche Intelligenz
ML	Maschinelles Lernen / Machine Learning
IR	Industrieroboter
TCP	Tool Center Point
KS	Koordinatensystem
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
ToF	Time-of-Flight
DMS	Dehnungsmessstreifen

1 Einleitung

Veränderungen und Weiterentwicklung sind seit jeher ein wesentlicher Bestandteil der Gesellschaft. Hierzu gehört seit dem Jahr 1955 auch die künstliche Intelligenz (KI), deren Begriff von einer Gruppe Informatiker ins Leben gerufen wurde. Der Begriff umschreibt die maschinelle Simulation jedes Aspekts von Lernen und anderer Fähigkeiten der menschlichen Intelligenz, wie beispielsweise Sprachverständnis, Abstraktion oder die Entwicklung von Ideen. Bereits Anfang der 1950er Jahre wurden die ersten Tests mit KI durchgeführt. Dabei handelte es sich um den sogenannten Turing Test. Während dieses Tests erhielt die Testperson eine Tastatur. Mit dieser Tastatur kommunizierte die Testperson mit einem unbekanntem Partner. Konnte die Testperson nach Ablauf der Zeit keine Angabe machen, ob es sich um einen realen Menschen oder eine Maschine handelt, so war der Test bestanden. Heutzutage ist die künstliche Intelligenz ein essentieller Bestandteil unseres Alltags. Täglich wird ein Großteil der Bevölkerung mit künstlicher Intelligenz in Form von Siri, Alexa, Werbungen auf Social Media Plattformen und vieler weiterer Ausprägungen konfrontiert. Auch auf dem Arbeitsmarkt werden bereits Technologien mit künstlicher Intelligenz eingesetzt - sei es in der Medizin während einer Operation oder in Form eines Chatbot im Rahmen der Kundenkommunikation eines Unternehmens. Ziel der KI ist es, den Menschen zu entlasten und die Effizienz und Effektivität zu steigern. Dies kann zudem zu einer Kostensenkung führen.¹

Nicht nur der Mensch ist von der dauerhaften Weiterentwicklung betroffen. Auch die Industrie erfährt einen stetigen Wechsel der Techniken, die von Massenproduktion in den 1800 Jahren über Dampfmaschinen Ende des 19. Jahrhunderts bis zur Fließbandfertigung in den 1940 Jahren reicht. Das alles waren bedeutende Schritte der Industrialisierung. Aktuell liegt der Fokus auf der Industrialisierung 4.0, was vor allem mit der Digitalisierung zusammenhängt. Maschinen werden miteinander vernetzt und Arbeit, die zuvor von Menschen ausgeführt wurde, wird nun maschinell geleistet.

Eine Branche, für die Deutschland weltweit bekannt ist, ist die Automobilindustrie. Dabei ist vor allem die Qualität der Fahrzeuge von großer Bedeutung. Es gibt viele große Automobilhersteller wie Audi, BMW, Mercedes, Opel oder VW, die ihre Sitze in Deutschland haben. Laut Statistik gab es zwischen den Jahren 1990 und 2016 eine Produktionssteigerung von rund 23% in der Automobilbranche in Deutschland.² Diese Kurve flachte ab dem Jahr 2019 stark ab, da es durch die Corona-Krise zu zahlreichen Produktionsausfällen und Lieferschwierigkeiten kam. Nichtsdestotrotz steckt hinter der Steigerung der letzten Jahre auch ein Grund. Die immer weiter fortschreitende Automatisierung hat

¹ (Cornelius 2019)

² (VDA. 2022)

Einleitung

zufolge, dass Prozesse optimiert werden, was unter anderem zu kürzeren Durchlaufzeiten und einer geringeren Fehlerquote führt. Vor allem an der Montage sind die Takt- und Durchlaufzeiten ein relevantes Thema. Je schneller ein Produkt durch die Montage kommt, desto weniger Kosten fallen an und die Stückzahl kann somit erhöht werden. Dies wiederum führt beim Verkauf der Produkte zu einer Gewinnerhöhung. Deshalb wird stetig versucht, die Prozesse zu optimieren und den maximalen Wertschöpfungsgrad zu erzielen. Aufgrund dessen werden für bestimmte Montagevorgänge bereits Roboter eingesetzt, die den Menschen unterstützen und teilweise sogar ersetzen. Dies geschieht vor allem bei Aufgaben, bei denen Genauigkeit eine entscheidende Rolle spielt. Was für den Menschen eine hohe Konzentration erfordert – z.B. beim Setzen einer Schweißnaht oder eines kleinen Löt punktes - ist für einen Roboter keine Herausforderung. In der Welt der Technik gibt es unterschiedliche Arten von Robotern wie beispielsweise kartesische oder SCARA-Roboter.³

Allerdings werden nach wie vor viele Montageschritte per Hand durchgeführt. Teilweise ist ein Robotereinsatz nicht möglich, da sich der Arbeiter an verschiedene Situationen anpassen muss. Ein starrer Roboter ist nicht in der Lage, sich an sein Umfeld anzupassen und unvorhersehbare Situationen zu meistern. Mit Hilfe der künstlichen Intelligenz ist es mittlerweile möglich, einem Roboter Tätigkeiten zu lernen und das Erlernte auf eine neue Situation anzuwenden. Dies geschieht mithilfe verschiedener Methoden. So gibt es beispielsweise Methoden, die sich für das Gehen lernen eignen, während andere Methoden die Unterscheidung von Bildern oder die Erkennung von Motiven ermöglichen. Durch den aktuellen Stand der Technik könnte man die Frage aufwerfen, warum es noch keinen Roboter gibt, der sich an der Bandmontage an die Umgebungsbedingungen anpasst. Zum anderen besteht aktuell keine Notwendigkeit, da Schritte, die von Industrieroboter durchgeführt werden könnten, bereits von Robotern ohne künstliche Intelligenz durchgeführt werden. Zudem sollte eine gewisse Balance zwischen Menschen und Maschine immer im Vordergrund stehen. Trotz allem gibt es Prozessschritte, die von Robotern nicht ausgeführt werden können, dem Arbeiter aber gesundheitlichen Schaden zufügen. Ein solcher Schaden kann sowohl in Form von psychischen Belastungen als auch auf den physischen Belastungen aufgrund von Fehlhaltungen oder Überbelastung entstehen.⁴ In der vorliegenden Arbeit sollen verschiedenste Themenbereiche der künstlichen Intelligenz, der Montage und des Industrieroboters erklärt und erläutert werden. Ziel der Arbeit ist es, eine Lösung der nachfolgenden Kernfrage zu finden:

Ist es sinnvoll, einen 6-Achs-Knickarmroboter, welcher auf Basis künstlicher Intelligenz mittels maschinellen Lernens arbeitet, in einen Bandmontageschritt eines Automobilunternehmens zu integrieren?

³ (Götz 2020)

⁴ (Ballestrem et al. 2020)

Theoretische Grundlagen

Da es sich bei der Arbeit um eine Übersichtsarbeit handelt, werden alle notwendigen (Teil-)Bereiche, die zur Beantwortung der Frage relevant sind, beschrieben und erklärt. Im Laufe der Arbeit werden ein Großteil der Begriffe der künstlichen Intelligenz geklärt. Zudem wird auf die Funktionsweise im Falle von Anwendungsbeispielen eingegangen. In der vorliegenden Arbeit wird ein 6-Achs-Knickarmroboter betrachtet, da er sich aufgrund seiner flexiblen Bewegungen am besten für die Montage eignet. Zuerst wird auf die aktuelle Situation in der Industrie eingegangen, wodurch die Notwendigkeit von KI dargestellt wird. Des Weiteren wird das Grundwissen, welches man zur Beantwortung der zuvor aufgezeigten Frage notwendig ist, erläutert. Hierfür werden auch Unterpunkte wie maschinelles Lernen und Deep Learning angesprochen. Diese Themen werden jedoch nicht weiter vertieft, was durch einen Kommentar am Ende des jeweiligen Themengebietes gekennzeichnet wird. Anschließend wird aus dem erworbenen Wissen die Kernfrage der Arbeit beantwortet und mit jeweiligen Anwendungsbeispielen aus der Automobilbranche bestärkt. Die Arbeit endet mit einem Fazit, in dem die wichtigsten Aspekte nochmals aufgegriffen werden. Ein Ausblick sowie weitere relevante Forschungslücken runden die Arbeit ab.

Beim Einsatz von KI kommt es häufig zu Diskussionen in Bezug auf gesetzliche Regelungen. Oft kann keine genaue Zuordnung getroffen werden, wer wann haftet, falls die KI nicht richtig funktioniert. Da eine weitere Vertiefung des Themas Gesetze für KI nicht relevant für die Beantwortung der zugrunde liegenden Forschungsfrage ist, wird auf das Thema nicht weiter eingegangen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Industrie 4.0 und Smart Factories

Zunächst wird die Industrie 4.0 näher betrachtet, da sie in Form von Digitalisierung oder datentechnischer Vernetzung Teil des gesellschaftlichen Alltags und in Unternehmensprozessen ist.⁵ Da der Mensch sich stetig weiterentwickelt, werden mit neuem Wissen auch neue Möglichkeiten eröffnet. So auch in der Industrie. Industrie 4.0 stellt die vierte signifikante Veränderung dar, die die Industrie revolutioniert hat. Jeder dieser Sprünge baut aufeinander auf und bildet das Grundgerüst für die nächste Stufe. Wenn man heutzutage von Industrialisierung spricht, so ist die Rede von der intelligenten Vernetzung zwischen Maschinen und Abläufen mit Hilfe von Kommunikations- und Informationstechnologien.⁶ Um einen reibungslosen Ablauf an der Montage gewährleisten zu können, besitzt sowohl die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine als auch der Maschine-Maschine-Austausch eine zentrale Rolle.

⁵ (Steven 2018) S. 68

⁶ (Was ist Industrie 4.0? 2019)

Theoretische Grundlagen

Maschine zu Maschine Kommunikation (M2M):

Da es sich bei der Montage um einen fortlaufenden Prozess handelt, müssen die Maschinen untereinander im ständigen Austausch sein. Alle Maschinen sind miteinander vernetzt. Durch die Vernetzung ist es möglich, dass die Maschinen Informationen erhalten, um anschließend Aktionen durchzuführen, ohne dass der Mensch eingreifen muss. Durch unterschiedliche Netzwerktechniken wie beispielsweise Bluetooth, Near Field Communication, Radio-Frequency-Identification kann der Austausch gewährleistet werden. Welche Art ausgewählt wird, hängt vom jeweiligen Fall ab. Da es vor allem auch auf die Geschwindigkeit der Datenübertragung ankommt, gilt als Grundlage des Datennetzes das 5G-Netz.

Mensch-Maschinen-Interface:

In diesem Fall gibt es viele unterschiedliche Ziele, wie der Mensch mit einer Maschine kommunizieren kann. Von Sensoren, über Tastatur bis hin zu einem einfachen ON/OFF-Knopf - das Ziel bleibt gleich. Die KI muss den Menschen und dessen Intention verstehen.⁷

Es gibt verschieden Möglichkeiten die Industrie 4.0 anzuwenden. Dazu gehören beispielsweise eine wandelbare Fabrik, welche intelligente mobile Systeme in den Arbeitsalltag integriert, um flexibel auf Auftragsänderungen reagieren zu können⁸, kundenzentrierte Lösungen in Form von personalisierten Customer Journeys, die Optimierung der Logistik, Gewinnung und Einsatz von Daten, ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft oder eine flexible Produktion. Für diese Arbeit sind die Produktions- und Datenthemen von Bedeutung. Während einer Produktion durchläuft ein Produkt viele Stationen bis das Endprodukt erschaffen wurde. Mit Hilfe neuer Technologien können diese Schritte digital vernetzt werden und Maschinen optimal ausgelastet werden, sodass die Effizienz steigt. Während der Produktion fallen zudem viele Daten an. Diese Daten werden zusammengeführt und ausgewertet. Anhand dieser Daten kann überprüft werden, ob ein Prozess effizient ist und wie man die Effizienz steigern kann. Beispielsweise besitzen Maschinen Sensoren, die Abnutzungen erkennen und rechtzeitig gewartet werden können. Daher minimiert man die Gefahr, dass es zu einem Ausfall kommt und man einen Maschinenstillstand beseitigen muss.⁹ Ziel der Industrialisierung ist es, den gesamten Automatisierungsgrad zu steigern. Dadurch werden Ressourcen in der Produktion besser eingesetzt und die Flexibilität, Individualität und Störungsunempfindlichkeit steigt. Des Weiteren sollen Anpassungen am Produkt durch neue Kundenwünsche oder den Wandel des Marktes schneller umgesetzt werden. Auch geringe Losgrößen sollen im Zuge der Industrie 4.0 rentabler für Unternehmen werden. Durch die Verfügbarkeit der großen Mengen an Informationen soll die

⁷ (Mockenhaupt 2021) S. 199f

⁸ (Soder 2021)

⁹ (Steven 2018) S. 116

Theoretische Grundlagen

Entscheidungsfindung verbessert werden. Auch die Komplexitätsanforderungen an verschiedene Produkte sollen einfacher zu bewältigen sein, da die Daten mit Hilfe der Vernetzung schneller zu den einzelnen Fertigungsstationen gelangen.¹⁰

Der Mittelpunkt der Industrialisierung 4.0 ist die sogenannte Smart Factory bzw. intelligente Fabrik. Ziel einer Smart Factory ist es, eine komplette Produktionsumgebung zu schaffen, in der Menschen keine Eingriffe vornehmen und alles eigenständig organisiert wird. Dabei werden die Fertigungsanlagen und Logistiksysteme intelligent vernetzt. Das bedeutet, dass das Produkt eigenständig die Information an die verschiedenen Anlagen weitergibt, um eine reibungslose Fertigung zu gewährleisten.¹¹ Dabei sind nicht die Maschinen im Mittelpunkt der Smart Factory, sondern die Daten, mit denen die Maschinen arbeiten. Es werden durchgehend Daten generiert - sei es in Form von Temperatur, Drehmoment oder Luftfeuchtigkeit. Dies sind nur wenige Beispiele für Daten, die in so einem Vorgang produziert und durch verschiedene Sensoren erfasst werden können. Da ein herkömmliches Computerprogramm aufgrund der zu großen Menge keine Möglichkeit hat mit diesen Daten umzugehen oder diese zu speichern, werden die Methoden der künstlichen Intelligenz angewandt. Ein Bereich, der stark von KI profitiert, ist die Predictive Maintenance - zu Deutsch vorausschauende Wartung. Dort werden Maschinen nicht erst bei Ausfall gewartet, sondern es werden Daten weitergeleitet, die auf einen Ausfall hindeuten, sodass ein Techniker frühzeitig vorsorglich eingreifen kann.¹² Dadurch wird nicht nur dem Maschinenausfall vorgebeugt. Auch verschiedene Unstimmigkeiten in der Produktion sollen durch die Maschinen eigenständig behoben werden. Dank Sensoren und Kameras erkennt der Roboter verschiedene Einzelteile und kann mit ihnen arbeiten und viele kleine Teile zu einem gesamten Produkt zusammenbauen. Auch die Arbeitsschritte Schweißen, Löten oder Ähnliches kann ein Roboter mittlerweile besser als der Mensch, da präziser gearbeitet werden kann. Zudem kann die Qualitätsprüfung von Robotern eigenständig durchgeführt werden. Eine Smart Factory kann jedoch nicht vollumfänglich ohne die Unterstützung des Menschen laufen. Die Systeme müssen weiterhin überwacht werden und Reparaturarbeiten müssen per Hand durchgeführt werden. Jedoch könnte mit künstlicher Intelligenz ein Großteil der aktiven Arbeit abgedeckt werden.¹³

¹⁰ Ebenda S. 116

¹¹ (Luber 2019)

¹² (Künstliche Intelligenz in der Smart Factory: Anforderungen an die PC-Hardware 2019)

¹³ (Steven 2018) S. 115ff

2.2 Montageablauf in der Fertigung

Die Montage - auch Produktion genannt – ist im Allgemeinen in drei verschiedene Teiloperationen aufgeteilt. Dabei handelt es sich um Fügen, Handhaben und Justieren.¹⁴ Beim Fügen geht es darum, zwei oder mehrere feste Körper dauerhaft zu verbinden. Dies geschieht beispielsweise durch Verschrauben oder Schweißen. Das Handhaben befasst sich mit dem Bewegen und Greifen von Teilen. Die restlichen Teiloperationen dienen zur Überprüfung und Einstellung des gefertigten Teils, weswegen diese erst nach der Montage notwendig sind und deshalb für die vorliegende Arbeit vernachlässigt werden können, da die Kontrolle weiterhin per Hand durchgeführt werden sollte.

Die fünf oben genannten Teiloperationen werden wiederum in zwei Montagearten unterteilt. Zum einen gibt es die Primärmontage, zu der das Fügen zählt. Die zweite Montageart ist die Sekundärmontage, welche die restlichen Teiloperationen beinhaltet. Die Primärmontage fließt direkt in die Wertschöpfung des zu fertigenden Produktes, während die Sekundärmontage keine Wertschöpfung mit sich bringt und für einen Montagevorgang nicht erforderlich ist. Deswegen ist das Ziel einer Montage, die Sekundärmontage gering zu halten oder sogar ganz zu vermeiden. Auch in diesem Fall wird das Augenmerk der Arbeit auf die Primärmontage gelegt. Wie bereits eingangs erwähnt, soll der Einsatz eines speziellen Roboters in der Bandmontage eines Automobilunternehmens untersucht werden. Daher werden nun die Montageschritte in der Automobilindustrie aufgezeigt. Während der Bandmontage - auch Fahrzeug-Endmontage genannt - wird die lackierte Karosserie um alle noch fehlenden Teile ergänzt. Der Ablauf ist unternehmensunabhängig ähnlich. Zuerst werden die Kabelstränge im Fahrzeug verbaut, da dies nach Verbau der anderen Teile nicht mehr möglich ist. Anschließend wird das Interieur verbaut. Dabei handelt es sich um die Innenausstattung des Fahrzeuges wie Sitze oder Lenkrad. Ein Teil der Arbeit kann daher nur von innen durchgeführt werden – wie beispielsweise die Sitzverschraubung. Neben dem Interieur werden weitere Anbauteile wie Scheibenwischer außerhalb des Fahrzeuges verbaut. Nach diesen Schritten folgt die sogenannte *Hochzeit*. Dabei werden Karosserie und Antriebsstrang miteinander verbunden. Im letzten Schritt werden alle vorher demontierten Türen und Klappen wieder am Fahrzeug verbaut. Die Hochzeit wird heutzutage bereits von Industrierobotern durchgeführt, weswegen eine Aufwertung zu einem Roboter mit KI nur bedingt Sinn machen würde und deshalb nicht beachtet wird.¹⁵

2.3 Industrieroboter

Unter Industrieroboter (IR) versteht man universell einsetzbare Bewegungsautomaten, die über mehrere Achsen verfügen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolgen, -wegen und -winkeln frei

¹⁴ (Adami 2008) S. 116

¹⁵ (Ihme 2006) S. 341ff

Theoretische Grundlagen

programmierbar und teilweise sensorgeführt sind. Sie können mit Werkzeugen, Greifern oder anderen Fertigungsmitteln (Effektoren) aufgerüstet werden und können Handhabungs- und/oder verschiedene Fertigungsaufgaben durchführen. Von einem IR spricht man, wenn dieser mindestens drei frei programmierbare Achsen besitzt.¹⁶

In der Montage werden über sämtliche Branchen hinweg bereits einige Industrieroboter eingesetzt. Im europäischen Vergleich steht Deutschland, was den Einsatz von Industrierobotern betrifft, an der Spitze. Deutschland setzte 2021 branchenübergreifend pro 10.000 Mitarbeiter 371 Einheiten ein. Im weltweiten Vergleich belegt Deutschland hinter Südkorea, Singapur und Japan Platz vier.¹⁷ Das bereits eine Vielzahl an Robotern eingesetzt wird, hat verschiedene Gründe. Da die Automation bei immer zunehmender Produktvielfalt eine wichtige Rolle spielt, sind flexible Roboter geeigneter als starre Sondermaschinen, welche nur einen vorprogrammierten Schritt ausüben können. Auch die steigenden Qualitätsanforderungen spielen eine große Rolle. Durch die Automatisierung können Vorgänge exakter wiedergegeben werden, was zu einer Qualitätssteigerung führen kann. Auch der Mensch zieht Vorteile aus dem Einsatz der Roboter. Ein Teil der Arbeitsschritte belastet die Physis und/oder Psyche des Menschen. Durch IR können diese gesundheitsschädlichen Schritte von Robotern durchgeführt werden. Des Weiteren besteht ein dauerhafter Kostendruck auf die zu fertigenden Produkte. Durch den Einsatz der Roboter kommt es zu einer Rationalisierung durch die Automatisierung.¹⁸

Die oben genannten Gründe sind nur ein Ausschnitt, warum Industrieroboter teilweise einen Vorsprung gegenüber menschlichen Tätigkeiten besitzen. Nichtsdestotrotz werden nach wie vor viele Menschen in der Produktion eingesetzt. Denn bei einer Montage kommt es nicht nur auf eine Qualitätsverbesserung oder Kostensenkung an. Auch die Anpassung an Veränderungen oder das Lösen eines aufgetreten Problems spielen eine große Rolle. Da es sich bei den eingesetzten IR um einen Roboter handelt, der nur den programmierten Schritt durchführen kann, spielt bei Problemen und Anpassungen die menschliche Tätigkeit nach wie vor eine große Rolle, da viele Schritte per Hand durchgeführt werden müssen.¹⁹

Im Zuge dieser Arbeit wird ein Knickarm-, oder auch Gelenkroboter genannt, betrachtet. Als Knickarmroboter werden Industrieroboter mit einer seriellen Anordnung von Achsen bezeichnet. Aufgrund ihrer hohen Flexibilität werden sie bereits häufig in der Automobilbranche eingesetzt.

¹⁶ (Götz 2020)

¹⁷ (Diez-Holz 2022)

¹⁸ (Götz 2020)

¹⁹ (Berger/Lehmann/Porsch 2021) S. 23ff



Abbildung 1: 6-Achs-Knickarmroboter²⁰

Die seriell angeordneten Achsen werden als starre Körper angesehen, was bedeutet, dass diese nicht verformbar sind. Zwischen den einzelnen Achsen befinden sich Gelenkachsen, welche die Beweglichkeit des Roboters sicherstellen. Für die Gelenkachsen können verschiedene Arten verwendet werden. Hierbei unterscheidet man zwischen rotatorischen und translatorischen Gelenkachsen. Diese Achsen sind dafür verantwortlich, in welcher Position sich der Roboter im Raum befindet. Bei rotatorischen Achsen ist die Winkelstellung des Gelenks und bei translatorischen Achsen die Ausfahrlänge ausschlaggebend. Das Ende des Industrieroboters wird als Effektor bezeichnet. Der Effektor ist das Teil, welches mit der Umgebung in Kontakt tritt und kann beispielsweise ein Greifer, eine Messspitze oder ein direktes Werkzeug sein.²¹

Damit sich ein Roboter im Raum frei bewegen kann sind Freiheitsgrade notwendig. Freiheitsgrade sind frei wählbare voneinander unabhängige Parameter. Unabhängig bedeutet in diesem Fall das ein Parameter geändert werden kann, ohne dabei andere zu beeinflussen. Diese Parameter sind verschiedene Bewegungsrichtungen und Drehrichtungen. Ein Körper hat im Raum sechs Freiheitsgrade, um sich zu bewegen. Die Abbildung 2 zeigt alle sechs verschiedenen Freiheitsgrade auf. Dabei handelt es sich bei den rot, gelb und blauen Pfeilen um die Bewegungsrichtung oder auch Translation genannt und bei den grün, orange und türkisen Pfeile um die Drehrichtung bzw. Rotation.²²

²⁰ (KR 1000 L750 titan - Knickarmroboter by KUKA AG | DirectIndustry n.d.)

²¹ (Weber/Koch 2022) S. 15ff

²² (Freiheitsgrad – Physik-Schule o. D.)

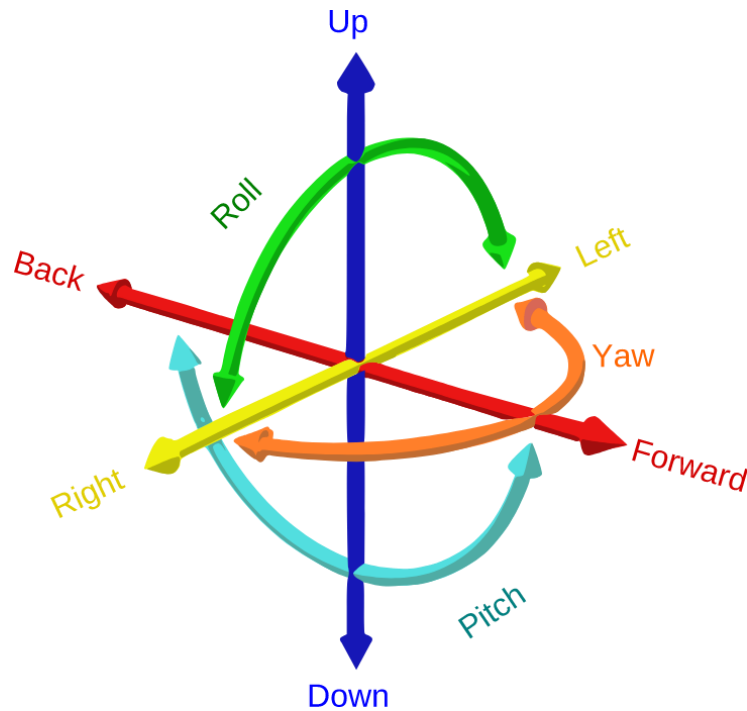


Abbildung 2: Freiheitsgrade eines Körpers²³

Für das Thema der Industrieroboter ist es wichtig zu wissen, dass ein frei beweglicher Körper im Raum sechs Freiheitsgrade besitzt. Dabei bestimmen 3 Freiheitsgrade die Position des Körpers im Raum. Dies sind die Ortskoordinaten x , y , z . Die weiteren drei Freiheitsgrade sind für die Orientierung im Raum verantwortlich. Dabei handelt es sich um die Drehwinkel ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z .²⁴

Bei dem betrachteten 6-Achs-Knickarmroboter besitzt jede Achse einen Freiheitsgrad. Dies bedeutet in Summe, dass dieser insgesamt sechs Freiheitsgrade besitzt, was ihm ermöglicht, in seinem Arbeitsraum an jeden Punkt in beliebiger Richtung zu gelangen. Die sechs Achsen des Roboters sind aufgeteilt in drei Grundachsen und drei Handachsen. Die Grundachsen befinden sich an den langen Armgliedern und sind dafür verantwortlich, dass sich das Werkzeug am Ende an der gewünschten Position befindet. Die Handachse, welche an den kurzen Armgliedern befestigt sind, bringt das Werkzeug in die richtige Orientierung.²⁵

²³ Ebenda

²⁴ (Wüst 2005)

²⁵ Ebenda

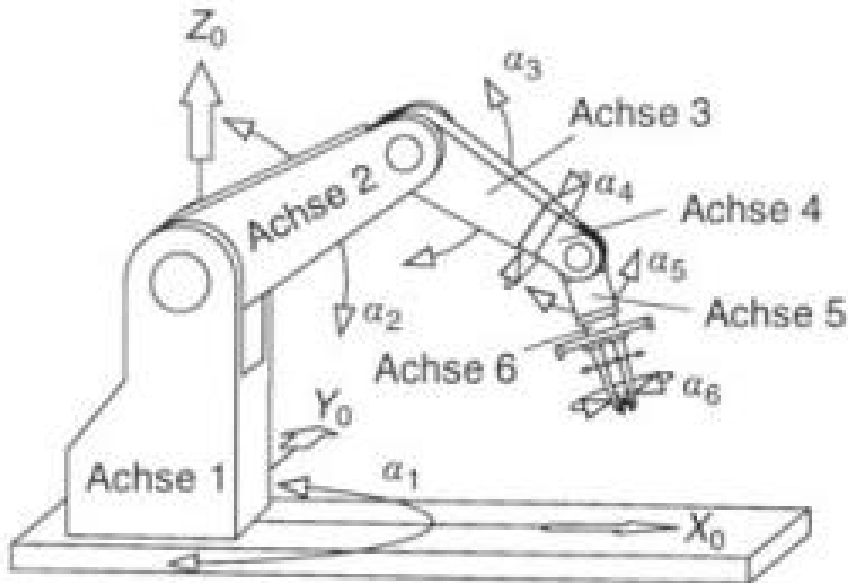


Abbildung 3: Achsen eines Knickarmroboters²⁶

Da sich ein Roboter in seinem Arbeitsraum frei bewegen kann, ist es wichtig, den Raum für den Roboter exakt zu definieren, um keine ungewollten Bewegungen zu erhalten. Eine genaue Definition der Räume entsteht durch kartesische Koordinatensysteme. Hier unterscheidet man zwischen:

- Welt-Koordinatensystem
- Roboter-Ursprung-Koordinatensystem oder auch ROBROOT genannt
- Werkstück- bzw. BASE-Koordinatensystem
- Werkzeug- bzw. TOOL-Koordinatensystem²⁷

Das Welt-Koordinatensystem definiert den kompletten Raum der Erde und hat den Ursprung im Inneren der Erde. Das ROBROOT-Koordinatensystem sitzt immer im Fuß des Roboters. Es beschreibt jeden Arbeitspunkt und Tool Center Point (TCP) im Arbeitsraum. Der TCP beschreibt die Endposition des Effektors. Die beiden Koordinatensysteme der Welt und des Roboter-Ursprungs sind deckungsgleich. Auch das BASE-Koordinatensystem ist deckungsgleich mit dem WORLD-Koordinatensystem (KS). Anders als das ROBROOT, beschreibt das BASE-KS die Positionierung und Orientierung des Werkstückes. Der Ursprung des Werkstück-Koordinatensystems liegt meist an einer Kante des Werkstückes. Um das Werkstück genaustens bearbeiten zu können, muss der Steuerung des Roboters die Lage und Ausrichtung des BASE-Koordinatensystems in Bezug auf das ROBROOT-KS bekannt sein. Das TOOL-KS wird durch eine Werkzeugvermessung ermittelt. Dabei wird am Ende des

²⁶ (Bartenschlager et al. 2013) S. 288

²⁷ (Berufsbildende Schule 2 2018)

Werkzeuges ein kartesisches Koordinatensystem hinzugefügt, welches meist an der Werkzeugspitze (TCP) liegt.^{28 29}

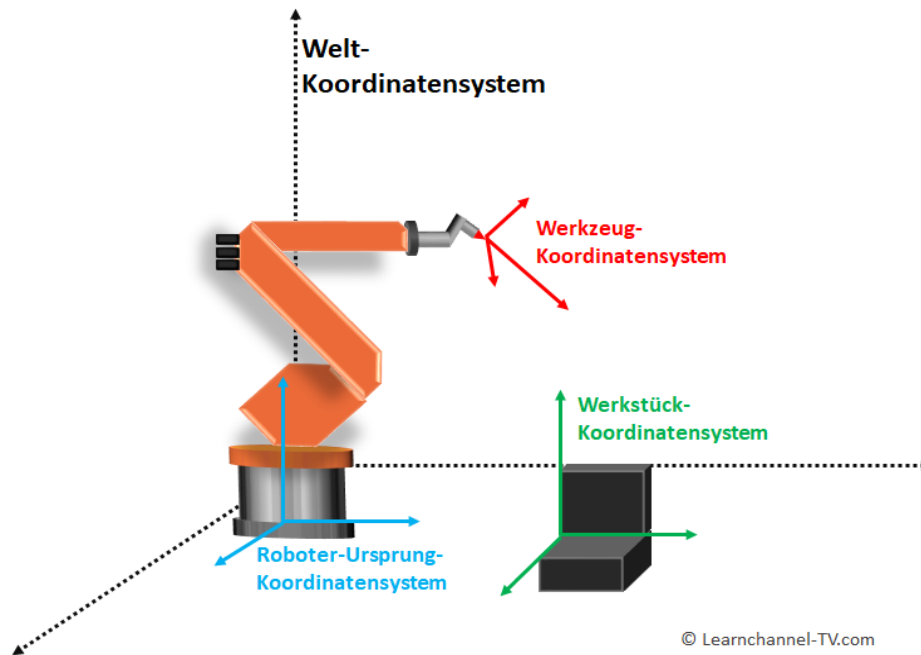


Abbildung 4: Koordinatensystem Roboter³⁰

3 Künstliche Intelligenz

Es gibt mittlerweile bereits zahlreiche Gegenstände, die von künstlicher Intelligenz gesteuert werden. Ein Beispiel hierfür ist ein iPhone, welches die Sprachsteuerung *Siri* besitzt, die auf Basis von KI arbeitet. Einfach ausgedrückt ist künstliche Intelligenz der Versuch, die menschliche Denk- und Lernweise auf einen Computer zu übertragen. Der Computer soll dadurch in der Lage sein, eigenständig Probleme zu erkennen und zu lösen - ohne Umprogrammierung. Wie in der Einführung erwähnt, bezieht sich das Wort künstliche auf nicht menschliche Objekte - also beispielsweise Computer, Roboter oder Smartphones. Intelligenz ist die kognitive bzw. geistige Leistungsfähigkeit zur Lösung von Problemen. Intelligenz wiederum ist die „Fähigkeit [des Menschen], abstrakt und vernünftig zu denken und daraus zweckvolles Handeln abzuleiten“. Werden nun beide Begriffe zusammengesetzt, kann eine eigenständige Definition gebildet werden:

Künstliche Intelligenz ist die Fähigkeit, einer Maschine menschenähnliches Handeln, Denken und Lernen beizubringen, um Probleme zu erkennen und diese eigenständig zu lösen.

²⁸ (Roboter Koordinatensysteme – Learnchannel-TV.com n.d.)

²⁹ (Brecher/Weck 2021b) S. 577

³⁰ (Roboter Koordinatensysteme – Learnchannel-TV.com n.d.)

Künstliche Intelligenz

Innerhalb der KI wird noch zwischen zwei Begriffen unterschieden. Neben der sogenannten starken KI gibt es zudem eine schwache KI. Von einer starken KI wird gesprochen, wenn eine Maschine auf jedem Themengebiet Probleme jeglicher Art lösen kann. Die schwache KI hingegen ist nur auf ein Themengebiet spezialisiert. Ein weiterer Unterschied zwischen starker und schwacher KI ist, dass die starke KI aktuell noch nicht realisierbar ist, wohingegen schwache KI bereits eingesetzt wird. Aufgrund der Realisierbarkeit wird in der Folgenden Arbeit nur die schwache KI betrachtet.

Die wichtigsten Merkmale einer KI wurden im vorangegangenen Text bereits beschrieben - das Lernen einer Maschine und das Anwenden auf ein Problem. Doch was unterscheidet die künstliche Intelligenz von einem gewöhnlichen Programm eines Computers oder eines Smartphones? Für gewöhnlich werden Codes geschrieben, welche aus Anweisungen unterschiedlicher Komplexitäten bestehen. Ein sehr allgemeines Beispiel wäre die *Wenn dies, dann das*-Anweisung. Ein Anwendungsbeispiel hierfür wäre „Wenn der Benutzer auf Senden drückt, schicke die E-Mail an den Server X“. Dort wird der Vorgang von Anfang bis Ende beschrieben, sodass der Computer genau weiß, welche Anforderungen er befolgen muss. Diese Systeme werden auch als regelbasiert bezeichnet.³¹ Anders als bei regelbasierten Systemen wird die künstliche Intelligenz mit einem Algorithmus beschrieben. Ein Algorithmus beschreibt die Vorgehensweise, um Probleme zu lösen. Auf die Grundlagen und Funktionsweise eines Algorithmus wird in den nachfolgenden Abschnitten genauer eingegangen.³²

3.1 KI-Typen und Aufbau

Künstliche Intelligenz kann in vier verschiedene Typen eingeteilt werden.

Typ 1: reaktive Maschine

Bei diesem Typ handelt es sich um die Urform der künstlichen Intelligenz. Reaktive Maschinen sind so programmiert, dass diese lediglich eine einzige Aufgabe erfüllen können. Des Weiteren besitzen sie keinen Speicher, was bedeutet, dass sie auf das Gelernte nicht zurückgreifen können.

Typ 2: begrenzte Speicherkapazität

Anders als die reaktive Maschine besitzt der Typ 2 die Fähigkeit, vorangegangene Ereignisse zu speichern und in der nächsten Situation das Gespeicherte anzuwenden. Dieser Typ ist die gängigste Form der künstlichen Intelligenz und wird auch in dieser Arbeit genauer betrachtet.

³¹ (Raveling 2022)

³² (Bischoff 2022) S. 13

Künstliche Intelligenz

Typ 3: Theorie des Geistes

Dieser Typ existiert aktuell nur in der Theorie. Bei dieser Art geht es um zwischenmenschliche Interaktionen. Das bedeutet, dass die KI Emotionen von Menschen erkennt und sich dem Menschen je nach Gefühlslage anpasst und danach handelt.

Typ 4: Selbstwahrnehmung

Auch dieser Typ ist aktuell noch in der Entwicklung und wird noch nicht eingesetzt. Die Selbstwahrnehmung kommt dem Menschen am nächsten. Sie kann das Umfeld vollständig wahrnehmen und kann sämtliche Reaktionen nachvollziehen und danach handeln. Der entscheidende Unterschied ist, dass Typ 4 weg von „Ich denke“ und hin zu „Ich weiß“ geht. Dieser Typ soll sogar die menschliche Intelligenz übertreffen können.³³

Damit künstliche Intelligenz so funktioniert wie gewünscht, sind verschiedenen Komponenten notwendig. Dabei kann man die Komponenten und deren Funktion in drei verschiedenen Gruppen einteilen. Zum einen in die künstliche Intelligenz selbst, den Menschen und die reale Welt. Die künstliche Intelligenz selbst beinhaltet Hardware, Software, Algorithmen, welche für die Intelligenz verantwortlich sind und eingebettete Systeme. Diese Inhalte der KI sind notwendig, damit die erhaltenen Informationen verarbeitet werden können und eine Schlussfolgerung daraus gezogen werden kann. Diese Informationen werden zum einen durch den Menschen gegeben und zum anderen durch die reale Welt. Der Mensch ist für die Mensch-zu-Maschine-Kommunikation verantwortlich. Das bedeutet, dass der Mensch dem KI-System die notwendigen Informationen zuführt. Dies kann über verschiedene Wege ablaufen. Möglichkeiten wären eine Eingabe über eine Tastatur, durch Sprache, Gesten oder Signale. Dies ist nur eine kurze Auflistung der Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine. Ohne eine menschliche Vorgabe hätte die KI keinen Anhaltspunkt, wie sie funktionieren soll und welche Signale zur Verarbeitung sinnvoll sind und welche nicht. Des Weiteren erhält das System Parameter über die reale Welt. Da eine reale Welt keine direkte Möglichkeit besitzt sich mit der künstlichen Intelligenz auszutauschen, sind Sensoren notwendig, welche sowohl intern als auch extern an der KI angebracht sind. Mit Hilfe der Sensoren ist es nun möglich, die benötigten Werte der Außenwelt aufzunehmen und zu verarbeiten. Da es eine Vielzahl von Sensoren gibt, müssen diese je nach Verwendungszweck auf die KI abgestimmt werden. Außerdem besitzt die KI neben Sensoren noch Aktoren. Durch die Aktoren kann mit der Umgebung interagiert werden und die Ergebnisse der verarbeiteten Informationen nach außen getragen werden. In der Abbildung 5 wird das Grundsystem einer KI veranschaulicht. Dort wird verdeutlicht, wo sich das *Gedächtnis* der KI befindet. Zudem werden einzelne Kommunikationswege und Informationssammelwege visualisiert.³⁴

³³ (Stadler 2022)

³⁴ (Mockenhaupt 2021) S. 51

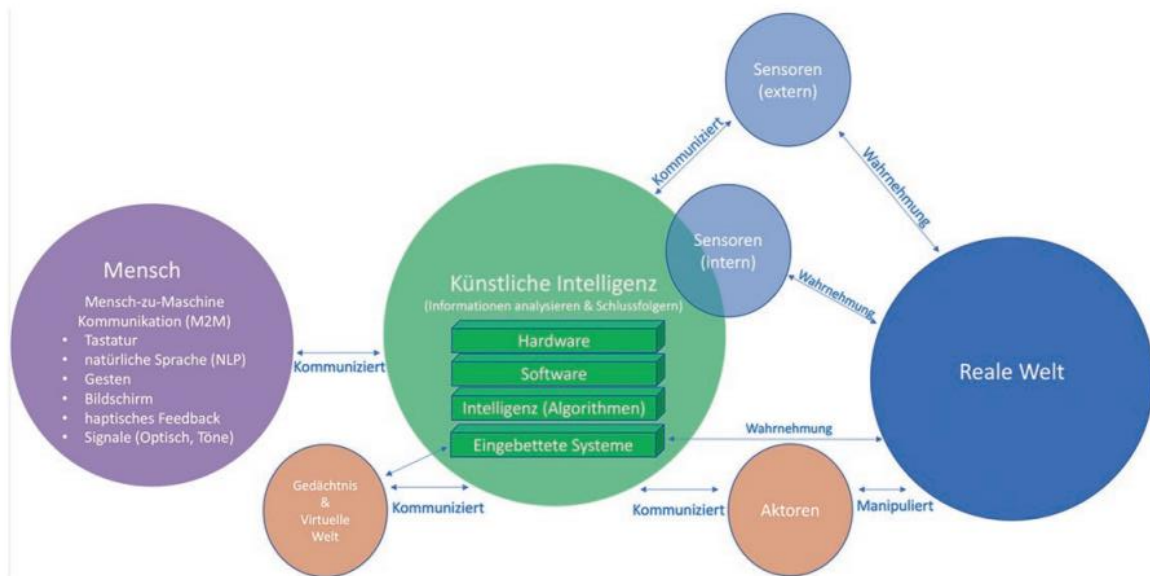


Abbildung 5: Aufbau einer KI³⁵

Für die Datenverarbeitung und Transparenz der Aktion wird zwischen zwei KI-Ansätzen unterschieden. Dabei handelt es sich um den Ansatz der symbolischen KI und der subsymbolischen KI.

Symbolische KI:

In diesem System spielt die Vollständigkeit der Daten eine große Rolle. Die symbolische KI basiert auf einem Modell, in dem Zusammenhänge und Ergebnisse für den Menschen transparent und klar nachvollziehbar sind. Dies geschieht über Entscheidungsbäume, wodurch der Mensch die Schritte verstehen kann. Der Ablauf ist dabei an das Top-Down-Prinzip orientiert. Als Erstes werden Daten benötigt, die im nächsten Schritt vom System verarbeitet werden. Zuletzt wird ein Ergebnis aus den Daten erarbeitet. Auch wenn die Nachvollziehbarkeit einen großen Vorteil dieser KI darstellt, besitzt dieser Ansatz auch Nachteile. Bei einem vollständigen Datensatz kann das System wie oben beschrieben arbeiten. Fehlen jedoch manche Daten, so stößt das System an seine Grenzen. Durch fehlende Daten können an bestimmten Punkten der Entscheidungswege keine Entscheidungen getroffen werden, sodass ein Ergebnis ausbleibt. Ein weiterer Nachteil des Ansatzes ist die Weiterentwicklung. Durch die vorgegebenen Wege entwickelt sich das System kaum weiter und es werden wenig neue Sachen erlernt.

Beispiele für eine symbolische KI sind Assistenzsysteme im Fahrzeug wie beispielsweise rückwärts einparken mittels einer Einparkhilfe. Solange das Assistenzsystem alle benötigten Daten wie Fahrbahnmarkierungen, Parklückengröße, Gangwechsel des Fahrers oder Straßenseite der Parklücke durch den Blinker erhält und diese Eingabedaten brauchbar für den Einparkvorgang sind, so kann das

³⁵ Ebenda S. 51

Fahrzeug ohne Probleme einparken. Sobald aber eine Datenquelle, die für den Vorgang notwendig ist, nicht vollständig ist oder fehlt, z.B. Fahrbahnmarkierung, fällt es dem Fahrzeug enorm schwer, den Einparkvorgang durchzuführen. Das Fahrzeug bleibt häufig stehen mit dem Hinweis „Vorgang wurde abgebrochen“.³⁶

Subsymbolische KI:

Anders als bei einer symbolischen KI kann eine subsymbolische KI mit fehlenden Daten umgehen. Hierfür werden neuronale Netze eingesetzt, welche mit der Zeit lernen, auch mit fehlenden Datenmengen zu arbeiten. Voraussetzung ist eine große Anzahl an Daten, mit denen das System lernen kann. Dabei werden gewisse Regelmäßigkeiten, die in den Daten vorhanden sind, erkannt und bewertet. Sollte eine benötigte Datei fehlen, die das System zum Arbeiten benötigen würde, greift es auf die gelernten Daten zurück, um anhand der Regelmäßigkeiten einen Lösungsweg zu erarbeiten, der die fehlenden Daten überspielt. Nachteil dieses Ansatzes ist das beschränkte Verständnis des Menschen. Da das System eigenständig arbeitet und keinen genauen Weg vorgegeben bekommt, ist es oftmals sehr schwer, den Lösungsweg nachzuvollziehen. Auch die Fehlerhäufigkeit spielt eine Rolle. Das System ist zwar so ausgelegt, dass Fehler erlaubt sind, jedoch ist anschließend oft nicht klar, warum der Fehler gemacht wurde bzw. wo die KI sich falsch entschieden hat.

Ein Beispiel hierfür ist das autonome Fahren. Das Fahrzeug befindet sich auf offener Straße, wo sich theoretisch alle Verkehrsteilnehmer aufgrund der Gesetze gleich verhalten sollten. Da sich aber jeder Verkehrsteilnehmer anders verhält, ist es wichtig, dass das System auf unvorhersehbare Situationen reagieren kann - sei es ein Fußgänger der plötzlich auf die Straße geht oder ein Fahrzeug, welches sich nicht an die Vorschrift rechts vor links hält. In diesen Fällen muss das Fahrzeug unverzüglich reagieren. Dies kann in Form einer Vollbremsung oder einer Geschwindigkeitsreduzierung geschehen. Durch solche Situationen lernt das Fahrzeug sich immer besser an unvorhersehbare Ereignisse anzupassen und den richtigen Lösungsweg zu finden. Da auch in der Montage verschiedene Situationen nicht vorhersehbar sind - sei es in Form eines Bandstillstandes während eines Arbeitsvorgangs oder eine Schraube, die nicht passt, wird in der weiteren Arbeit der Ansatz der subsymbolischen KI verwendet.³⁷

3.2 Anschauungsbeispiel für den Einsatzgebiete

Es gibt zahlreiche Probleme und Lösungswege, die ein Mensch aufgrund seines beschränkten Wissens niemals beschreiben bzw. lösen könnte. Ein Beispiel hierfür ist die Bilderkennung auf einem Smartphone. Ein Smartphone besitzt teilweise die Möglichkeit, Personen anhand von verschiedenen Bildern zu erkennen. Anschließend werden alle Fotos, auf denen die Person zu sehen ist, in einem

³⁶ Ebenda S. 57f

³⁷ Ebenda

Künstliche Intelligenz

Ordner zusammengefasst. Für Menschen wäre es unmöglich, einen solchen Code zu umzusetzen, da der Codeschreiber zuvor alle Bilder kennen müsste und diese beschreiben müsste. Mit Hilfe der künstlichen Intelligenz ist die Erkennung von Personen machbar. Dabei wird der KI mit Hilfe eines Algorithmus gelernt, wie man im Allgemeinen Personen erkennt. Auch wenn die KI die Personen am Anfang noch nicht erkennt bzw. Personen noch nicht genau zuordnen kann, lernt die KI mit steigender Anzahl an Bildern, wie welche Person aussieht und kann dieses Wissen dann auf neue Bilder übertragen. Daher erkennt die KI Personen nach kurzer Zeit in verschiedenen Lagen. Dabei ist es nicht relevant, dass die Fotos gleich oder ähnlich aussehen. Zusammenfassend kann man sagen, dass eine KI mit unbekanntem Daten umgehen und diese verwerten kann. Dabei lernt sie aus den vorher unbekanntem Daten und kann dadurch Wissen generieren. Sie lernt also eigenständig, wenngleich der Mensch durch die vorangegangene Programmierung bestimmt, was sie lernt.³⁸

Die Maschine erkennt eigenständig, welche Merkmale wichtig sind, um ein Ergebnis erzielen zu können. Jedes digitale Bild besteht aus einzelnen Pixeln. Dabei kann die Farbe jedes Pixels mit Hilfe dreier Farbwerte bestimmt werden: Grün, Blau und Rot. Die Maschine erhält im Anschluss eine Tabelle, in der jedes Pixel mit den drei Farbwerten beschrieben wurde. Die Aufgabe des Computers ist es nun, die wichtigsten Merkmale zu erkennen und diese anschließend richtig zuzuordnen, sodass am Ende das Bild einer Klasse zugeordnet werden kann.³⁹

Wirtschaft: Um sich ein möglichst genaues Bild eines Kunden bilden zu können, werden Analyse- und Kunden-Beziehungstools angewandt. Diese Systeme helfen, Kundendaten zu sammeln und auszuwerten, um eine genaue Vorstellung der Kunden zu erhalten. Auch Chatbots sind mittlerweile ein beständiger Teil vieler Unternehmen. Mit Hilfe eines digitalen Chatbots können Kundenanliegen schneller behandelt werden und oftmals zu einer Lösung führen. Durch die Eingabe der Kunden lernt der Chatbot genauer auf das Kundenanliegen einzugehen und kann Fragen und Anliegen direkter und effizienter zu beantworten, wenn es sich um einen ähnlichen Fall handeln sollte.

Bildung: Für Nachhilfelehrer ist es oftmals schwierig, den Wissenstand der Schüler einzuschätzen und mit der richtigen Schwierigkeitsstufe zu unterrichten. Ein KI-Tutor lernt, sich an den Schüler anzupassen und mit ihm in der richtigen Geschwindigkeit zu arbeiten. Dabei wird sichergestellt, dass das Lernen optimal an den Schüler angepasst wird, um das gewollte Ergebnis zu erzielen.

Security Bereich: Mit Hilfe der KI ist es möglich, kriminelles Verhalten schneller und genauer zu erkennen. Dabei werden verschiedenste Daten verglichen und eine mögliche Verbindung zu verdächtigen Aktivitäten überprüft. Dadurch werden böartige häufiger Codes erkannt und gleichzeitig

³⁸ Ebenda S.51ff

³⁹ (Paaß/Hecker 2021) S. 3ff

Künstliche Intelligenz

ein Schutz gegen den Angriff aufgebaut. Durch die KI konnten bereits einige Cyberangriffe abgewehrt werden.

Die oben genannten Beispiele sind nur ein Ausschnitt der aktuellen Einsatzgebiete der künstlichen Intelligenz. Auch in Bereichen der Fertigung werden bereits Roboter mit künstlicher Intelligenz eingesetzt. Dies dient aber oftmals nur der Unterstützung des Menschen, um die Tätigkeit einfacher zu gestalten.^{40 41}

3.3 Maschinelles Lernen

Wenn man künstliche Intelligenz genauer betrachtet, wird deutlich, dass der Begriff „künstliche Intelligenz“ nur einen Oberbegriff darstellt. Es wird häufig von KI gesprochen, damit sich Menschen darunter etwas vorstellen können. Möchte man die oben beschriebenen Vorgänge spezifischer beschreiben, so müsste man vom maschinellen Lernen sprechen. Das maschinelle Lernen ist eine von vielen Methoden der künstlichen Intelligenz. Wird also in dieser Arbeit künstliche Intelligenz thematisiert, ist automatisch von der Methode des maschinellen Lernens die Rede.

Machine Learning (ML) ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz. Algorithmen können Muster und Gesetzmäßigkeiten in Datensätzen erkennen und daraus Lösungen entwickeln. Es wird also Wissen aus Erfahrungen generiert.⁴² Wie bereits oben erwähnt, ist die Basis des ML ein Algorithmus, der so geschrieben ist, dass die Maschine selbstständig lernt und das Erlernte auch anwenden kann.

Wenn man Machine Learning genauer betrachtet, wird ersichtlich, dass es noch zwei weitere Unterpunkte gibt, die für das maschinelle Lernen notwendig sind. Dabei stößt man auf die Begriffe Deep Learning und Neuronale Netzwerke. Neuronale Netze sind eine Technologie des maschinellen Lernens und das Deep Learning wird durch spezielle Architekturen von neuronalen Netzen gewährleistet. Am unten dargestellten Abbild 6 wird die Aufteilung von der künstlichen Intelligenz hin zu den neuronalen Netzen veranschaulicht. Es zeigt sich, dass unter KI alles verstanden wird, was mit alleiniger Problemlösung zu tun hat. Wenn man aber über die Funktion einer künstlichen Intelligenz spricht, so müsste man eigentlich über maschinelles Lernen sprechen. Dasselbe gilt wiederum für ML. Um das maschinelle Lernen ordnungsgemäß durchführen zu können, ist Deep Learning notwendig. Dies wiederum benötigt neuronale Netze, um zu funktionieren.⁴³

⁴⁰ (Was ist künstliche Intelligenz und wie wird sie genutzt? | Aktuelles | Europäisches Parlament 2021)

⁴¹ (Burns/Laskowski 2021)

⁴² (Microsoft 2020)

⁴³ (Wuttke 2022d)

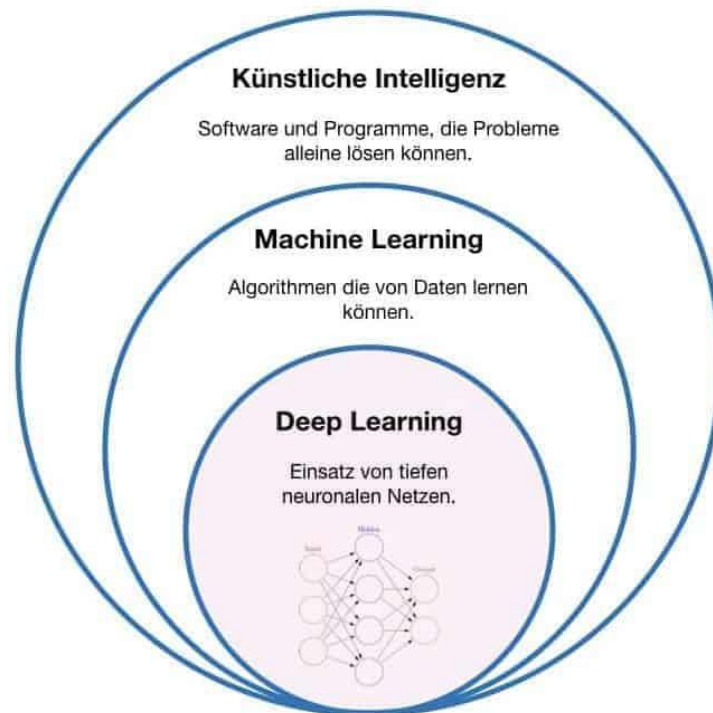


Abbildung 6: KI und ihre Untergruppierungen⁴⁴

Innerhalb des maschinellen Lernens gibt es verschiedene Arten wie Lernen gestaltet werden kann.

Überwachtes Lernen:

Beim überwachten Lernen erhält der Algorithmus zunächst verschiedene Trainings- und Testdaten. Anhand dieser Daten lernt der Algorithmus verschiedene Merkmale zu erkennen und diese zuzuordnen. Mit den Trainingsdaten lässt man den Algorithmus in erster Linie selbstständig trainieren. Sobald alle Daten bearbeitet wurden, erhält er die Testdaten, die ebenfalls bearbeitet werden. Anschließend wird eine Auswertung der Testdaten durchgeführt, um zu überprüfen, wie viele Fehler bei der Zuordnung der Testdaten gemacht wurden. Der entscheidende Punkt beim überwachten Lernen ist, dass man dem Algorithmus bereits vor den Trainingsdaten die entscheidenden Merkmale mitteilt und dieser mithilfe der vorgegebenen Werte eine Ausgabe treffen kann. Sind sowohl die Trainings- als auch die Testdaten durchgearbeitet, so können unbekannte Daten hinzugeführt werden. Durch gelernte Daten ist es dem Algorithmus nun möglich, selbstständig eine Zuteilung zu treffen. Dabei handelt es sich bei dem Ergebnis um eine Klassifikation oder eine Regression, also ein Zahlenwert.^{45 46}

⁴⁴ Ebenda

⁴⁵ (Kreutzer/Sirrenberg 2019) S. 7f

⁴⁶ (Kersting et al. 2019) S. 21ff

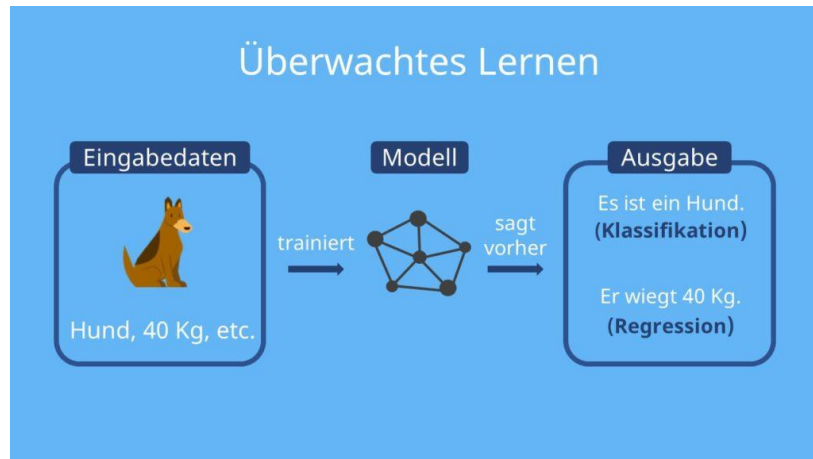


Abbildung 7: Überwachtes Lernen⁴⁷

Unüberwachtes Lernen:

Anders als beim überwachten Lernen, erhält der unüberwachte Lernalgorithmus keine Beispieldaten und keine vorgegebenen Merkmale nach dem die Daten sortiert werden sollen. Hierbei erhält der Algorithmus Daten, aus dem er eigenständig lernen soll, auf welche Merkmale es ankommt und wie man die Daten nach ihren Eigenschaften einteilen kann. Hierbei lernt der Algorithmus wieder und die Zuordnungen werden nach und nach genauer. Ein Problem, das häufig auftritt ist, dass sich der Algorithmus teilweise falsche Bezugsmerkmale heranzieht und nach falschen Eigenschaften sortiert. Es könnte beispielsweise sein, dass Bilder von Hunden, Katzen und Fischen zugeführt werden und das Unterscheidungsmerkmal die Beine der Tiere sind. Zwar würde er den Unterschied zwischen Hund und Fisch erkennen, jedoch nicht den Unterschied zwischen Hund und Katze. Auch hier gilt, je mehr Daten zugeführt werden, desto genauer wird die Einschätzung. Ein weiterer Unterschied zum überwachten Lernen ist, dass das Ergebnis hier eine reine Klassifikation ist. Teilweise kann die eigenständige Merkmalentscheidung auch von Vorteil sein. Es ist durchaus möglich, dass die vorgegebenen Merkmale, die der Programmierer beim überwachten Lernen zuordnet, ungeeignet sind für den Algorithmus, wodurch eine eigene Merkmalsfindung von Vorteil ist.⁴⁸

⁴⁷ (Machine Learning n.d.)

⁴⁸ (Kreutzer/Sirrenberg 2019) S. 7f

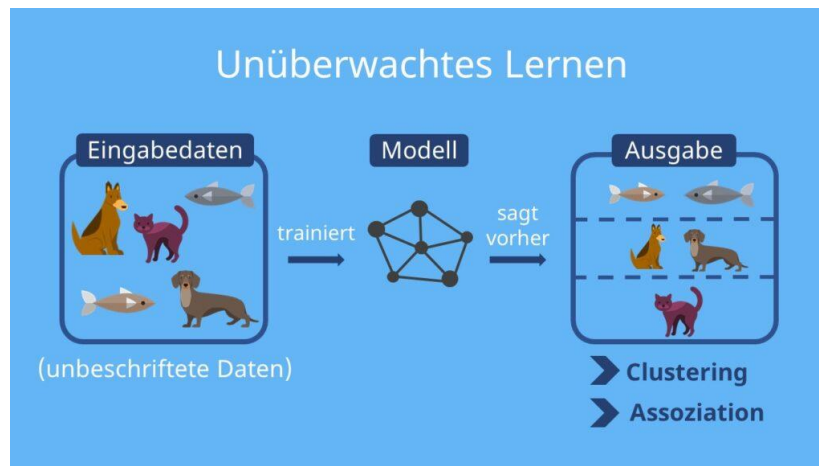


Abbildung 8: Unüberwachtes Lernen⁴⁹

Bestärkendes Lernen:

Das bestärkende Lernen funktioniert nach dem Trial and Error Prinzip. Hierbei werden ebenfalls keine Daten vorgegeben. Entscheidend für das bestärkende Lernen ist ein Belohnungssystem. Man gibt dem Algorithmus vor, welchen Zielzustand er am Ende besitzen soll. Anschließend beginnt der Algorithmus selbstständig, verschiedene Lösungswege zu testen und erhält anschließend eine Belohnung oder Bestrafung anhand einer Belohnungsfunktion. Durch diese Funktion erkennt der Algorithmus, ob er auf den richtigen Weg ist oder ob er seine Strategie ändern soll. Nachfolgend ist ein kurzes Beispiel skizziert, wie bestärkendes Lernen in der realen Welt aussieht. Man nehme an, man möchte einem Hund einen Trick beibringen. Am Anfang reagiert der Hund weder auf die Geste noch auf die Sprache, was bedeutet, dass dieser keine Aktion ausführt. Sobald der Hund nun eine Aktion ausführt (in Kombination mit dem gewünschten Kommando), so erhält er anschließend eine Kleinigkeit zu essen. Der Hund wird also belohnt. Führt der Hund im nächsten Anlauf trotz Kommando keine Aktion aus, so erhält er eine Bestrafung – er bekommt kein Essen. Dadurch lernt der Hund, dass gewisse Handlungen Belohnungen mit sich bringen, die nun schneller erlernt werden.⁵⁰

⁴⁹ (Machine Learning n.d.)

⁵⁰ (Wuttke 2022c)

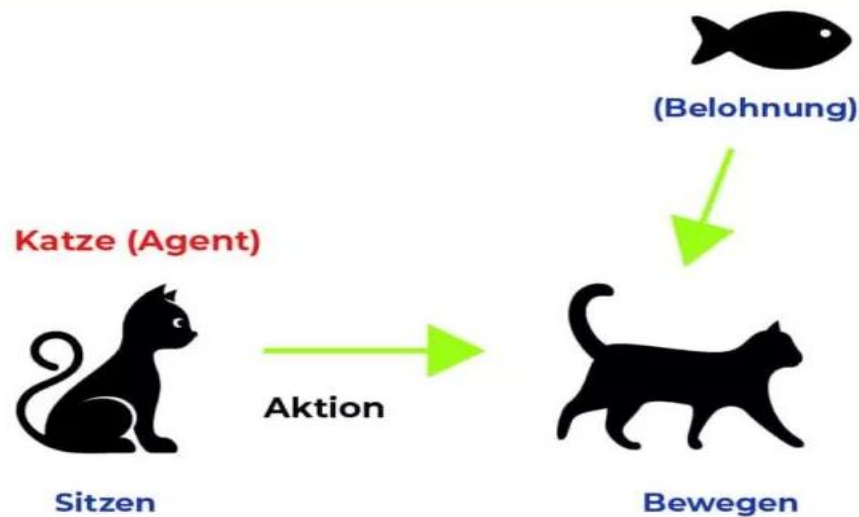


Abbildung 9: Bestärkendes Lernen⁵¹

Damit das maschinelle Lernen reibungslos funktioniert, wird ein Prozess durchlaufen.

1. Problemdefinition, Zieldefinition und Wissensaustausch

Zuerst müssen alle Unklarheiten beseitigt werden. Das maschinelle Lernen muss von Anfang bis Ende klar definiert werden, um die Funktion nutzen zu können.

2. Datenbeschaffung, Transformation und Feature Extraktion

In dieser Phase werden dem Algorithmus die notwendigen Daten zugeführt, welche er zu einem späteren Zeitpunkt nutzt, um auf das gewünschte Ergebnis zu gelangen.

3. Lernphase

Wie der Name vermuten lässt, findet in der dritten Phase das Lernen des Algorithmus statt. Dabei wird der Algorithmus trainiert und kann Gelerntes speichern und zu späteren Zeitpunkt erneut anwenden.

4. Interpretation

Die Ergebnisse des ML werden überprüft mit dem Ziel verstanden werden. Durch diesen Schritt ist es dem Fachpersonal möglich zu erkennen, was im Algorithmus passiert und ob dieser seine Aufgabe verstanden und umgesetzt hat.

5. Produktive Nutzung

Im letzten Schritt wird der Algorithmus so eingesetzt, dass dieser einen Mehrwert bietet. Das heißt, er wird aktiv in einen Prozess eingebaut und kann sein Können nun anwenden. Der komplette Prozess

⁵¹ Ebenda

wird so oft durchlaufen, bis das gesamte Modell die gewünschte Qualität besitzt und nun eigenständig arbeiten kann.^{52 53}

3.4 Algorithmen für KI

Ein Algorithmus ist ein Ablauf bzw. eine Schrittfolge, mit der ein Problem eindeutig, in endlich vielen Schritten, gelöst wird.⁵⁴ Ohne Algorithmen wäre Vieles nicht möglich. Fast jeder hat täglich Kontakt mit verschiedenen Algorithmen. Sei es beim Durchscrollen durch verschiedene Social Media Plattformen oder auf der Straße bei der Ampelschaltung. An jeder Ecke findet man heutzutage unzählige Algorithmen. Wie die Definition bereits vermuten lässt, soll ein Algorithmus dazu dienen, ein Problem zu lösen. Um dies gewährleisten zu können, sind sechs Eigenschaften notwendig.

1. Eindeutigkeit: ein Algorithmus darf keine widersprüchliche Beschreibung haben. Diese muss eindeutig sein.
2. Ausführbarkeit: jeder Einzelschritt muss ausführbar sein.
3. Finitheit: die Beschreibung des Algorithmus muss endlich sein.
4. Terminierung: nach endlich vielen Schritten muss der Algorithmus enden und ein Ergebnis liefern.
5. Determiniertheit: der Algorithmus muss bei gleichen Voraussetzungen stets das gleiche Ergebnis liefern.
6. Determinismus: zu jedem Zeitpunkt der Ausführung besteht höchstens eine Möglichkeit der Fortsetzung. Der Folgeschritt ist also eindeutig bestimmt.⁵⁵

Es gibt nicht den einen Algorithmus für eine funktionierende KI. Vielmehr gibt es unendlich viele. Um einen groben Überblick der wichtigsten Algorithmen-Strukturen zu erhalten, werden die wichtigsten vorgestellt und ihr Gebiet erklärt.

Baumstruktur:

Dies ist die einfachste Form eines Algorithmus. Er besteht aus Abzweigungen und es kann immer nur ein Pfad gewählt werden. Am Ende erhält man ein eindeutiges Ergebnis.⁵⁶

⁵² (Wuttke 2022d)

⁵³ (Kersting et al. 2019) S. 34ff

⁵⁴ (Informatik - für Schüler und Studenten 2019)

⁵⁵ (Czernik 2016)

⁵⁶ (Mockenhaupt 2021) S. 148

Baumstruktur

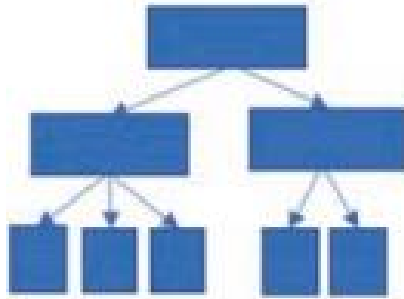


Abbildung 10: Baumstruktur⁵⁷

Lineare Regression:

In diesem Fall erstellt der Algorithmus eine Durchschnittsgerade zwischen den einzelnen Punkten. Ist dies geschehen, so befinden sich alle neu erstellten Punkte des Algorithmus auf dieser Geraden.⁵⁸

Lineare Regression

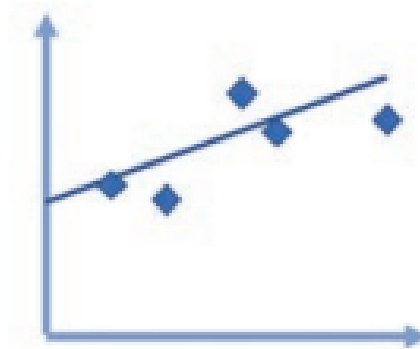


Abbildung 11: Lineare Regression⁵⁹

Support Vector Machine:

Ob die vorgegebenen Daten in zwei Klassen eingeteilt werden können, wird mithilfe einer Trennebene ermittelt. Diese Form besitzt zwei Sonderformen. Zum einen den Kernel-Trick, in dem die Trennebene anders als bei der Support Vector Machine keine Gerade, sondern eine nicht lineare Kurve ist und zum

⁵⁷ Ebenda S. 148

⁵⁸ Ebenda

⁵⁹ Ebenda

anderen das k-Mean-Clustering, wobei nicht nur zwei verschiedene Klassen entstehen können, sondern mehr als zwei.⁶⁰

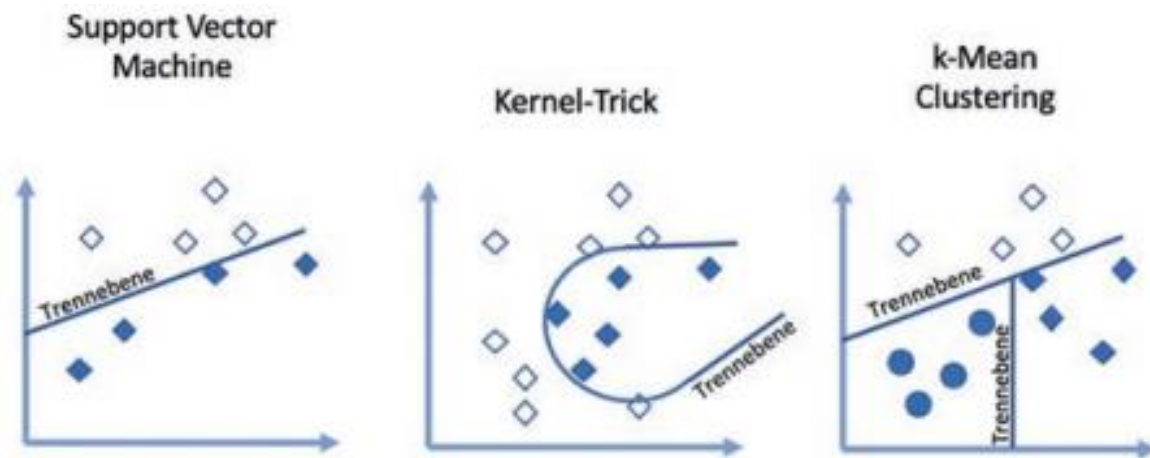


Abbildung 12: Support Vektor Maschine⁶¹

3.5 Deep Learning

Wie oben in der Aufteilung bereits erwähnt, gibt es eine weitere Teilmenge der KI - das Deep Learning. Es ist auf künstlichen neuronalen Netzen aufgebaut, auf welche Kapitel 3.6 genauer eingegangen wird. Neuronale Netze bestehen aus künstlichen Neuronen, die Informationen aufnehmen und weitergeben können. Im Allgemeinen ist das Deep Learning dafür verantwortlich, dass ein Gerät Bilder erkennt, Texte versteht oder verschiedenen Entscheidungen trifft. Die dort verwendeten neuronalen Netze stellen die Algorithmen dar, die das Lernen und Entscheiden ermöglichen. Diese Netze sind dem menschlichen Gehirn nachempfunden und funktionieren ähnlich wie das menschliche Gehirn.^{62 63}

Der Prozess des DL findet in drei verschiedenen Schichten statt. Die erste Schicht wird Eingabeschicht genannt. In der Eingabeschicht stehen Neuronen, die die Eingangsinformationen aufnehmen und mit einer Gewichtung an die nächste Schicht weitergeben. Jedes Neuron der Eingangsschicht gibt die Information an jedes Neuron der nächsten Schicht weiter. Als nächstes folgt die Zwischenschicht. In dieser Schicht werden die Informationen der Eingabeschicht aufgenommen und erneut gewichtet und weitergegeben. Die Zwischenschicht wird ebenfalls verborgene Schicht oder auf Englisch Black Box genannt, da die genaue Informationsbearbeitung dort nicht sichtbar ist. Am Ende eines Neuronalen Netzes steht die Ausgangschicht. Hierbei sind wieder alle Neuronen der Zwischenschicht mit den Neuronen der Ausgangsschicht verbunden. In dieser Schicht findet man die Ergebnisse der

⁶⁰ Ebenda S. 148

⁶¹ Ebenda

⁶² (Wuttke 2022a)

⁶³ (Goodfellow et al. 2018b) S. 7

vorangegangenen Informationsverarbeitungsprozesse. Der Begriff Deep Learning stammt von der Zwischenschicht. Während die erste und letzte Schicht jeweils immer nur aus einer Schicht besteht, kann die Zwischenschicht theoretisch eine unbegrenzte Anzahl an Schichten beinhalten. Jedoch benötigt man mit zunehmender Anzahl an Schichten auch eine höhere Rechenleistung, was in der Praxis irgendwann nicht mehr umsetzbar ist.^{64 65}

3.6 Neuronale Netze

Zunächst werden verschiedene Begriffe der Neuronalen Netze erklärt. Wenn man von Neuronen im Netzwerk spricht, so ist die Rede von den Knotenpunkten der Verbindungen. Jeder Knoten im neuronalen Netz besitzt eine Gewichtung. Diese Gewichtung wird anfänglich rein zufällig ausgewählt, wird jedoch mit der Zeit durch das Training des Netzes immer besser angepasst, damit am Ende der richtige Wert ermittelt werden kann. Des Weiteren gibt es eine Übertragungsfunktion. Die Übertragungsfunktion ist die Summe aller Eingabewerte multipliziert mit den Neuronengewichtungen. Beispiel: Eingabewert von 0,5 mit einer Neuronengewichtung von 0,5 und einem weiteren Neuron mit einem Eingabewert von 0,9 und einer Gewichtung von 0,2. Demzufolge werden die beiden Eingabewerte separat mit der Gewichtung multipliziert.

In diesem Fall wäre es:

$$= 0,5 * 0,5 + 0,9 * 0,2$$

Das Ergebnis der Übertragungsfunktion wird Netzeingabe genannt. Die Netzeingabe wird im nächsten Schritt in eine Aktivierungsfunktion eingefügt. Die Aktivierungsfunktion ist zuständig dafür, ob und mit welchem Wert ein darauffolgendes Neuron aktiviert wird. Durch einen Schwellenwert geschieht ein Abgleich mit der Netzeingabe. Dabei gibt es zwei Optionen. Option 1 wäre, dass die Netzeingabe über dem gewünschten Schwellenwert liegt. In diesem Fall wird das Neuron aktiviert und schießt mit einem Wert, welcher ebenfalls in der Aktivierungsfunktion beschrieben ist. Das Schießen eines Wertes bedeutet lediglich die Übertragung des Wertes an das darauffolgende Neuron. Die zweite Option wäre, dass die Netzeingabe unter dem Schwellenwert liegt. Dies führt dazu, dass das Neuron keinen Wert weiterleitet. Man spricht auch davon, dass das Neuron ruht. Innerhalb der ersten Versuche werden mit hoher Wahrscheinlichkeit falsche Werte/Ergebnisse am Ende ermittelt, was auf die zufällige Wahl der Gewichtung zurückzuführen ist. Nach mehrmaliger Wiederholung werden die Gewichtungen

⁶⁴ (Cociancig n.d.)

⁶⁵ (Sonnet 2022) S. 7

selbstständig angepasst, bis man das richtige Ergebnis erhält und mit unbekanntem Daten arbeiten kann.^{66 67}

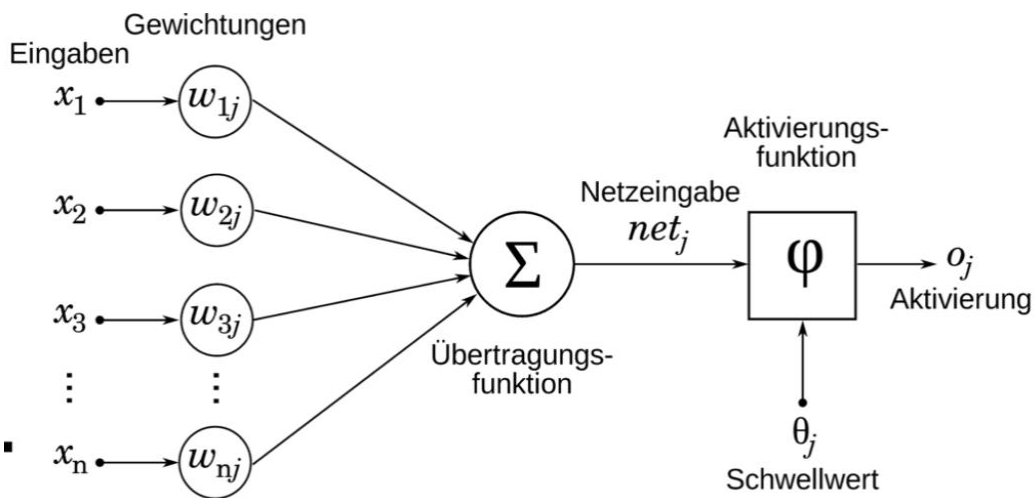


Abbildung 13: Neuronale Netze Funktionsweise⁶⁸

Um die Arbeitsschritte der Schichten zu verdeutlichen, wird ein Beispiel aufgezeigt, welches die Unterscheidung zwischen einem Apfel und einer Birne darstellen soll. Als allererstes wird dem Netz die benötigte Information gegeben. In diesem Fall wären es Bilder von Äpfeln und Birnen. Anschließend enthält jedes Neuron der Eingabeschicht einen Wert, der an die Neuronen der Zwischenschicht weitergegeben wird. Diese Werte werden jedoch nicht eins zu eins weitergegeben, sondern mit einer bestimmten Gewichtung, die im allerersten Durchgang zufällig gewählt wird. Wie in diesem Beispiel ersichtlich wird, handelt es sich bei den Neuronen eins und zwei um Neuronen der Eingabeschicht und Neuron 3 gehört zur Zwischenschicht. Dabei handelt es sich bei $x_{1/2}$ um den Wert der Neuronen und bei $w_{1/2}$ um die Gewichtung, mit welcher die Neuronen weitergeben werden.⁶⁹

⁶⁶ (Grünwald 2020)

⁶⁷ (Sonnet 2022c) S. 7

⁶⁸ (Wuttke 2022b)

⁶⁹ (Neuronale Netze n.d.)

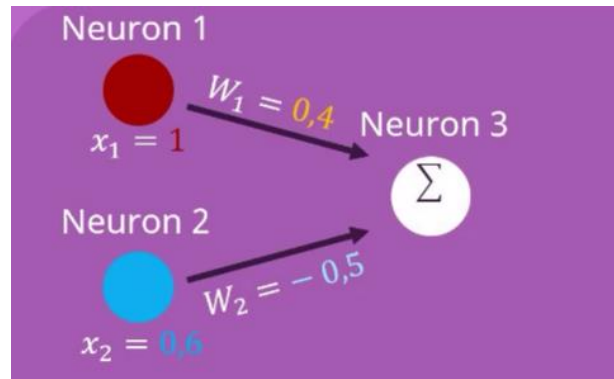


Abbildung 14: Gewichtung Neuronen⁷⁰

Im nächsten Schritt wird der Wert des dritten Neurons berechnet. Dies geschieht durch die Summe der beiden Neuronengewichtungen. Wie in der unten aufgezeigten Rechnung besitzt der Wert des dritten Neurons 0,1.⁷¹

$$x = 1 \cdot 0,4 + 0,6 \cdot -0,5 = 0,1$$

Abbildung 15: Berechnung Neuron 3⁷²

Nach Berechnung des Wertes wird der Wert des dritten Neurons in eine sogenannte Aktivierungsfunktion eingegeben. Diese Funktion entscheidet darüber, ob und welchen Wert das dritte Neuron an das nächste Neuron weitergibt.⁷³

$$f(x) = \begin{cases} x & : x > 0 \\ 0 & : x \leq 0 \end{cases}$$

Abbildung 16: Aktivierungsfunktion⁷⁴

Aktivierungsfunktionen können unterschiedlich sein. Der Wert vor dem Doppelpunkt (siehe Abbildung 16) gibt den Wert an, welcher weitergeben wird. In diesem Fall wäre es x und 0. Das zweite x nach dem Doppelpunkt steht für den eingesetzten Wert. Da bei dem vorderen x in der oberen Funktion keine weiteren Bedingungen gegeben sind, erhalten beide einen identischen Wert. Setzt man x_3 , welcher sich nach der oberen Berechnung auf 0,1 beläuft in die Funktion ein, so erhält man in der ersten Zeile:⁷⁵

$$0,1 : 0,1 > 0$$

⁷⁰ Ebenda

⁷¹ Ebenda

⁷² Ebenda

⁷³ Ebenda

⁷⁴ Ebenda

⁷⁵ Ebenda

Künstliche Intelligenz

Beim Einsetzen in die zweite Zeile enthält man:

$$0 : 0,1 \leq 0$$

Da nur eine Funktion der Wahrheit entsprechen kann, in unserem Fall die obere Funktion, wird ein eindeutiger Wert weitergegeben – hier 0,1. Würde die zweite Funktion der Wahrheit entsprechen, so würde das Neutron ruhen. Wendet man das ganze Schema nun auf ein komplette Neuronales Netz an so könnte es am Ende so aussehen:⁷⁶

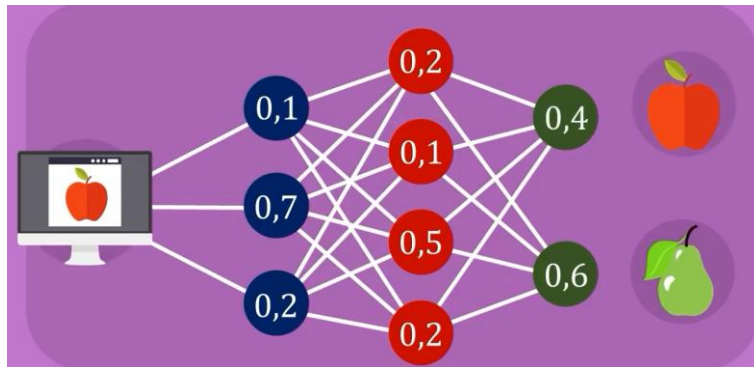


Abbildung 17: Darstellung komplettes neuronales Netz⁷⁷

Das Ergebnis des neuronalen Netzes ist, dass das zuvor zugeführte Bild eine Birne abbildet, was man anhand der beiden Endwerte ablesen kann. Der Birne wird der Wert 0,6 zugeordnet und dem Apfel 0,4 und da $0,6 > 0,4$ ist, wurde das Ergebnis falsch interpretiert. Dies ist aber nicht ungewöhnlich, da die Werte für die Gewichtungen im ersten Durchgang willkürlich angenommen werden. Daher ist es wichtig, ein Netz zu trainieren.⁷⁸

Es gibt verschiedene Arten von neuronalen Netzen. Allerdings besitzen manche eine wichtigere Bedeutung und manche wiederum eine geringere Bedeutung. Es werden nun die geläufigsten Arten der neuronalen Netze genauer erläutert:

Perceptron:

Dies ist die älteste und einfachste Form eines Netzes. Dabei werden lediglich die Eingabeparameter addiert, die Aktivierungsfunktion angewandt und das Ergebnis wird an die Ausgabeschicht weitergeleitet. Dabei erhält man ein binäres Ergebnis - also entweder 1 oder 0. Dies kann man mit einer Ja- oder Nein-Entscheidung gleichsetzen. Dabei wird das Ergebnis mit dem Schwellenwert der Aktivierungsfunktion verglichen. Überschreitet das Ergebnis den Schwellenwert, so wird ihm eine 1 zugeordnet. Beim umgekehrten Fall, also einer Unterschreitung, wird eine 0 zugeordnet. Auf

⁷⁶ Ebenda

⁷⁷ Ebenda

⁷⁸ Ebenda

Künstliche Intelligenz

Grundlage des Perceptron wurden weitere neuronale Netze entwickelt, welche auch Ausgabewerte zwischen 0 und 1 ermöglichen.^{79 80}

Feed forward neural network:

Diese Netzwerke zeichnen sich dadurch aus, dass jedes Neuron einer Schicht mit einem Neuron der nächsthöheren Schicht verbunden ist. Eine weitere Charakteristik ist die Aktivierung, die von der Eingangs- zur Ausgangsschicht abläuft. Auch die Zwischenschicht, zwischen der Anfangs- und Endschicht ist eine Eigenschaft, die das feed forward neural network mit sich bringt. Es gibt mindestens eine Schicht dazwischen, jedoch nach oben keine Grenze. Bei dem oben beschriebenen Anwendungsbeispiel mit dem Apfel und der Birne handelt es sich um ein feed forward neural network.⁸¹

Recurrent Neural Network:

Man kann davon sprechen, dass diese Netzwerkart aufgrund von Rückkoppelungen ein Gedächtnis besitzt. Dabei erhalten die Neuronen der gleichen oder unterschiedlichen Schicht wiederkehrende Zellen. Man unterscheidet zwischen Input-Neuronen, Hidden-Neuronen und Output-Neuronen. Die Input-Neuronen sind in der Lage, Informationen von der Außenwelt zu erhalten, welche in der nachfolgenden Grafik blau dargestellt sind. Über die gelben Hidden-Neuronen wird eine Verbindung zu den grauen Output-Neuronen hergestellt. Über die Output-Neuronen werden die Ergebnisse wiederum an die Außenwelt weitergegeben. Durch das Aufbauschema mit den verschiedenen Neuronen entsteht ein Informationsmuster. Dieses Netz wird verwendet, wenn nicht nur eine Entscheidung wichtig ist, sondern der gesamte Kontext. Ein Beispiel wäre die Textverarbeitung. Durch das recurrent neural network können Sätze analysiert werden.^{82 83}

⁷⁹ (Wuttke 2022b)

⁸⁰ (Sonnet 2022) S. 18ff

⁸¹ (Wuttke 2022b)

⁸² Ebenda

⁸³ (Sonnet 2022) S. 62ff

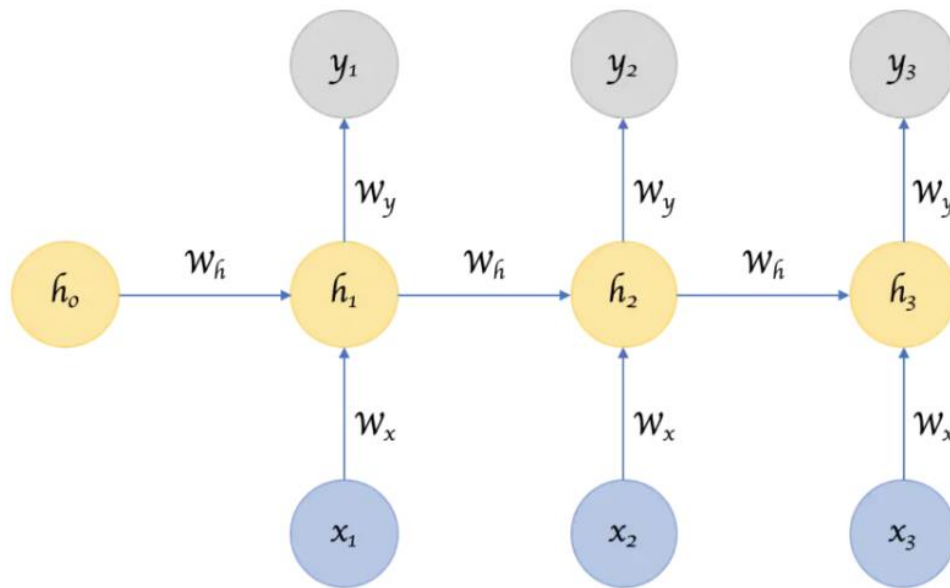


Abbildung 18: Recurrent Neural Network⁸⁴

Convolutional Neural Networks:

Diese Art von Netzwerken wird vor allem in der Bild- und Objekterkennung angewandt, da sie besonders gut mit 2D und 3D Eingabedaten arbeiten können. Der Unterschied zu einem klassischen Netz besteht in der Zwischenschicht des Netzes. Wie der Name convolutional (zu Deutsch Faltung) bereits erahnen lässt, handelt es sich bei der verborgenen Mittelschicht um eine Abfolge von Faltungen der Schicht. Dabei werden die Auflösungen der Merkmale verdichtet und reduziert. Dies geschieht innerhalb von zwei Vorgängen. Um am Ende ein komprimiertes Ergebnis zu erhalten, wendet das neuronale Netz zwei verschiedenen Schichten an. Zum einen die Convolution- und zum anderen die Pooling-Schicht. Diese Schichten werden jeweils abwechselnd aufgeführt, bis ein passendes Endergebnis erarbeitet wurde. In der Convolutionalschicht werden die Informationen gefaltet und in der Poolingschicht werden die Informationen anschließend verdichtet. Durch die Faltung können verschiedene Merkmale herausgefiltert werden, welche anschließend durch Fully Connected Schichten, die sich am Ende befinden, zu einem Ausgangswert berechnen lassen. Das Ende des CNN entspricht einem normalen Feed Forward Network.⁸⁵ Da eine Erklärung der Berechnung den Rahmen der Arbeit überschreiten würde, wird auf die Literatur „Digitale Bildverarbeitung“ von Martin Werner verwiesen, in der in Kapitel 14 eine detaillierte Beschreibung aufgelistet ist.^{86 87 88}

⁸⁴ (Wuttke 2022b)

⁸⁵ (Müller 2020) S. 103f

⁸⁶ (Werner 2020)

⁸⁷ (Wuttke 2022b)

⁸⁸ (Sonnet 2022) S. 65ff

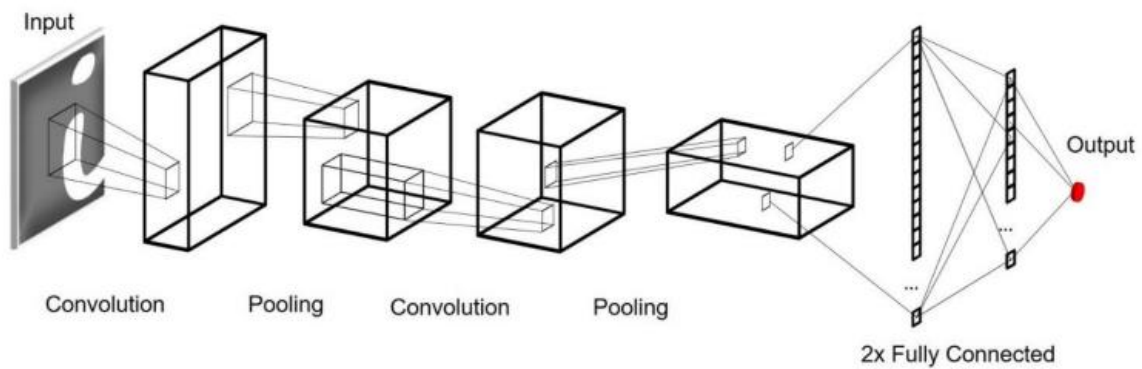


Abbildung 19: Aufbau eines CNN⁸⁹

Es werden die überflüssigen Informationen verworfen und es wird mit einer geringeren Menge an Informationen weiter gerechnet. Dabei bleibt die Rechenleistung gleich. Das bedeutet, dass die Geschwindigkeit der Berechnung beschleunigt wird. Am Ende entsteht ein Vektor, welcher vor allem für Klassifikationen sehr gut angewendet wird, da dieser so viele Neuronen wie Klassen enthält und eine Zuordnung über Wahrscheinlichkeiten berechnet.⁹⁰

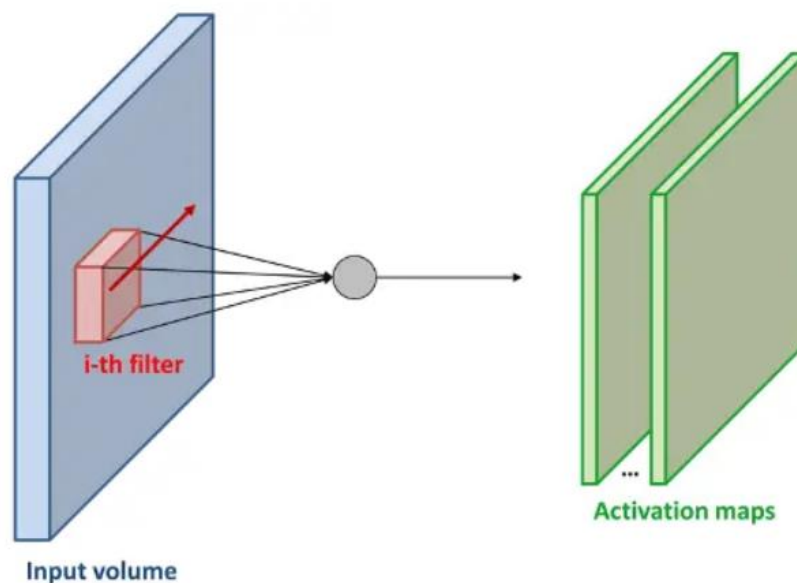


Abbildung 20: Convolutional Neural Network⁹¹

In der Abbildung 21 wird ein CNN gezeigt, welches verschiedene Objekte identifizieren kann. In diesem Fall gibt es 10 Output-Möglichkeiten und als Eingabe wurde ein Fahrzeug gewählt.

⁸⁹ (Müller 2020) S. 104

⁹⁰ (Sonnet 2022), S. 65ff

⁹¹ (Wuttke 2022b)

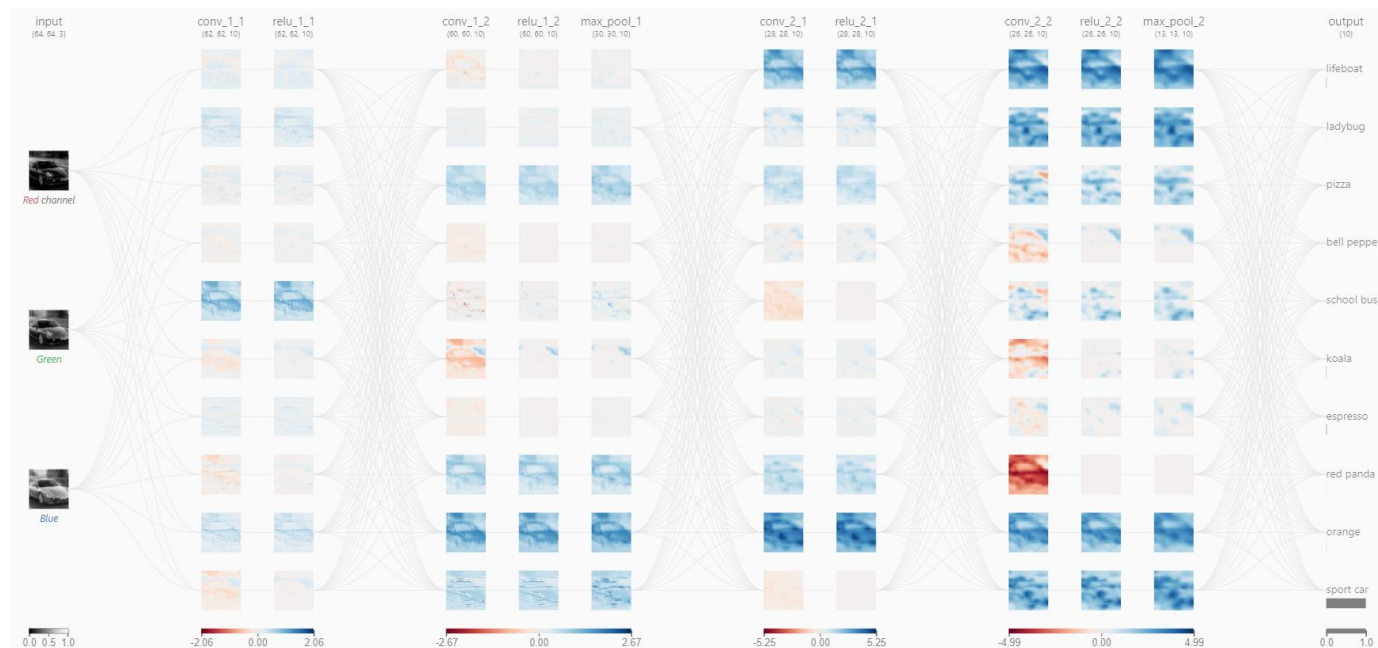


Abbildung 21: Anwendung eines CNN⁹²

An der Ausgabeschicht erhält man die Information, dass es sich bei dem eingegebenen Bild um ein „sport car“ also ein Sportfahrzeug handelt was der Wahrheit entspricht.

3.7 Umsetzung in der Montage

In den vorangegangenen Kapiteln wurden künstliche Intelligenz und Industrieroboter ausführlich beschrieben. Jedoch wurden beide Ansichten bisher getrennt betrachtet. Ziel der Arbeit ist es, einen Einsatzzweck für Roboter mit künstlicher Intelligenz aufzuzeigen. Hierbei kann zwischen zwei Themengebiete unterschieden werden. Zum einen kann die künstliche Intelligenz so angewandt werden, dass der Mensch während seiner Tätigkeit unterstützt wird. Zum anderen werden die Auswirkungen untersucht, falls der Mensch komplett ersetzt wird. Ziel beider Situationen ist es, den Montageprozess zu optimieren und Montagefehler und Ähnliches zu reduzieren.

Aktuell werden bereits künstliche Intelligenzen in den Montageprozess integriert. Dabei handelt es sich aber lediglich um unterstützende Funktionen. Hierfür wurde bereits 2021 ein Prototyp des Bremer Institutes für Produktion und Logistik mit Kooperation der Universität Bremen vorgestellt. Dabei handelt es sich um das Projekt *Axiom* was ausgeschrieben *Gamifiziertes KI-Assistenzsystem zur Unterstützung des manuellen Montageprozesses* bedeutet. Der Begriff Gamifiziert oder Gamification beschreibt den Vorgang, dass ein Mensch spielerisch dazulernt. Dabei werden Techniken, die ursprünglich für Videospiele konzipiert wurden, weiterentwickelt und auf die Industriewelt

⁹² (CNN Explainer o. D.)

angewandt.⁹³ Mittels optischer Sensoren werden zunächst alle Schritte des Prozesses erfasst. Dabei werden nicht nur die aktiven Montageschritte betrachtet, sondern auch die vorangegangenen Schritte wie Teileentnahme. Die erfassten Bilder werden anschließend an das System weitergeleitet, welches die Daten in Echtzeit erkennt und auswertet. Im nächsten Schritt kommt das Deep Learning zum Einsatz. Das Deep Learning analysiert die Daten, die ihm zugespielt werden. In diesem Fall handelt es sich um die Daten der Ergonomie und der Handbewegung. Durch die größer werdende Datenmenge lernt das KI-System, welche Körperhaltungen für den Arbeiter ungünstig sind und welche Bewegungen einen Verlust der Effizienz darstellen. Diese Informationen werden anschließend für den Monteur aufbereitet und das Ergebnis wird direkt an den Arbeitsplatz übermittelt. Durch einen Projektor, in diesem Fall ein Beamer, wird der Mensch mit einer visuellen Darstellung begleitet. Dabei werden ihm verschiedene Fehlhaltungen und vermeidbare Greifprozesse aufgezeigt und gleichzeitig auch eine Lösung gezeigt. Durch diese Darstellung hat der Mensch die Möglichkeit, seine Bewegungen anzupassen und vermehrt auf seine eigene Gesundheit zu achten. Die projizierte Darstellung und das Einbinden in den Arbeitsschritt ist auf der Grundlage der oben beschriebenen Gamification zurückzuführen, da der Mensch seine Handlungen und Verbesserungen spielend erlernt. Neben der gesundheitsschonenden Funktion wird auch die Montagequalität und -effizienz gesteigert.

Nach dem Einsatz des AxIoM-Systems ist eine deutliche Reduktion der Montagefehler und Prozesszeiten zu erkennen. Ebenso kommt es zu einer hohen Akzeptanz der Arbeiter gegenüber dem eingesetzten System.⁹⁴

4 Robotik und Sensorik mit KI

Neben der Datenverarbeitung und der Lösungsfindung von Problemen kann die künstliche Intelligenz mittels Robotik in der realen Welt interagieren. Dazu werden verschiedene Aktoren und Effektoren benötigt, welche die Umwelt manipulieren. Der Begriff Manipulation in Verbindung mit einem Roboter beschreibt lediglich, dass der Roboter die Umwelt verändert. Um gezielte Bewegungen, die sich der Umgebung anpassen, durchführen zu können, sind die Technologien des maschinellen Lernens und die Bildverarbeitung essenziell. Doch die Interaktion zwischen Roboter und Umgebung gestaltet sich schwierig. Das Paradox von Moravec beschreibt an welcher Grundlage es teilweise scheitert: „Es ist vergleichsweise einfach, Computer dazu zu bringen, Leistungen auf Erwachsenenniveau bei Intelligenztests oder beim Dame spielen zu erbringen, und schwierig oder unmöglich, ihnen die

⁹³ (Bohn 2021)

⁹⁴ Ebenda

Fähigkeiten eines Einjährigen in Bezug auf Wahrnehmung und Mobilität zu vermitteln.“⁹⁵ Für einen Roboter ist es kein Problem, komplexe Aktionen auszuführen, solange diese keinen Bezug zu Grundkenntnissen des Menschen wie Wahrnehmung beinhaltet. Mittlerweile können aber auch verschiedene Aktionen durchgeführt werden, die bis zuletzt noch nicht möglich waren. Ein Beispiel ist der Griff in die Kiste. Ziel des Roboters ist es, verschiedene Gegenstände aus einer unsortierten Kiste zu entnehmen. Für ein kleines Kind wäre das keine große Schwierigkeit. Ein Roboter hingegen hat vor allem wegen der Unordnung Probleme, das richtige Teil greifen zu können. Das Unternehmen KUKA erzielte in diesem Punkt einen großen Fortschritt. Ihnen gelang es, dass ein Roboterarm das richtige Teil erkannte und das lose Teil so gegriffen werden konnte, dass eine anschließende Weiterverarbeitung möglich war. Um solch eine Handlung durchführen zu können, ist eine Orts- und Umgebungserkennung notwendig. Die Umgebungserkennung erfolgt über eine Kamera, welche am Roboter befestigt ist. Die Ortserkennung hingegen erfolgt über eine Lokalisierung und einem Kartenabgleich, welche durch die SLAM-Technik funktioniert.⁹⁶ SLAM ist eine Abkürzung und bedeutet Simultaneous Localization and Mapping. Mit Hilfe dieser Technik ist es dem Roboter möglich, eine digitale Karte seiner Umgebung zu erstellen und gleichzeitig seine Bewegungen in diesem Raum zu interpretieren. Durch dieses Verfahren schafft es der Roboter, gerichtete Bewegungen in Relation seiner Umgebung durchzuführen und auch kleine Dinge zu greifen und diese auszurichten. Durch diesen Ansatz werden die Defizite, die er im Vergleich zu Menschen hat, minimiert.⁹⁷

Anders als bei dem oben genannten Fall in Kapitel, handelt es sich hierbei um kein unterstützendes System, sondern um einen Roboter, der eigenständige Bewegungen ausführen kann. Um diese Bewegung zu erlernen, reicht keine einfache Programmierung. Der Roboter muss eigenständig seine Umgebung kennenlernen und sich dieser anpassen. Dieser Vorgang kann mit einem Neugeborenen verglichen werden. Würde ein Baby nur rumliegen und nicht mit der Umgebung interagieren, so würde es verschiedene Fähigkeiten wie gehen oder sprechen nicht lernen. Auch die Erfolgsquote ist ähnlich. Ein Kind lernt nicht von heute auf morgen gehen. Es steht auf, geht ein paar Schritte und fällt oftmals wieder hin. Durch die Wiederholung der Versuche verbessert sich die Fähigkeit - bis es am Ende ohne Hilfe und ohne Probleme von A nach B gelangt. Sobald das Gehen erlernt wurde, werden neue Dinge erlernt wie klettern oder laufen. Ähnlich ist es bei einem Roboter. Durch eine reine Programmierung würde er keinen Lernerfolg erzielen. Erst durch verschiedene Versuchsabläufe lernt der Roboter dazu und lernt sich seiner Umgebung anzupassen. Wie bereits erläutert, lernt ein Roboter mittels künstlicher Intelligenz bzw. Deep Learning, was wiederum auf neuronalen Netzen basiert. Eine gute Erklärung ist das Zitat des kanadischen Neurowissenschaftlers Donald Hebb aus dem Jahr 1949 „What

⁹⁵ (Mockenhaupt 2021) S. 303

⁹⁶ Ebenda S. 303f

⁹⁷ (Kreutzer/Sirrenberg 2019) S.50f

fires together, wires together“⁹⁸ was auf Deutsch so viel bedeutet wie „Was zusammen feuert, verbindet sich.“ Wenn man dieses Zitat nun auf Neuronen ableitet, so lässt sich daraus schließen, dass sich mit höherer Wahrscheinlichkeit komplexe Netzwerke bilden, wenn zwei Neuronen häufiger miteinander interagieren, da sie sich mit der Zeit miteinander verknüpfen. Mit diesem Ansatz können dann Abläufe erlernt werden, wofür der Roboter nicht programmiert ist. Analog dem Vergleich mit einem Kind, das ohne Interaktion mit der Umwelt keine Fähigkeiten erlernt, kann dies ebenfalls bei dem Roboter angewandt werden. Zwar hat der Roboter die Fähigkeit, sich Bewegungen anzueignen, jedoch muss auch dieser erst mit der Umgebung arbeiten, um zu lernen. Dies geschieht mit Hilfe von passiven Reizen - sei es ein virtueller Faden, der den Roboter durch die Gegend zieht oder eine gezielte Kollision mit Gegenständen der Umgebung. Durch diese Reize lernt der Roboter erste Signale zu verarbeiten und diese umzusetzen. Hat dieser Vorgang begonnen, so verbessert sich der Lernprozess stetig. Durch die Bewegungen entstehen Reize, welche anschließend wieder zu einer Bewegung umgewandelt werden kann. Dadurch nimmt mit zunehmenden Reizen auch die Bewegung so lange zu bis ein Bewegungsmuster entsteht, welches auf die Umgebung angepasst ist. Dieser Ablauf der Fortbewegung wird anschließend so lange fortgeführt bis ein neues Hindernis auftritt und der Roboter eine Lösung finden muss, um auch dieses Hindernis zu umgehen.⁹⁹

Zudem soll das Thema Sensorik betrachtet werden. Ohne die Sensorik wäre der Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Produktion nicht möglich. Während eines Arbeitsschrittes fallen Unmengen von Größen an, welche erfasst und verarbeitet werden können. Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, den Roboter mit den richtigen Sensoren auszustatten. Wenn beispielsweise die Temperatur von Bedeutung ist, wäre ein Drucksensor sinnlos.

Sensoren sind für die Messung von verschiedenen Größen zuständig. Dabei kann es sich um physikalische, chemische, klimatische, biologische und medizinische Größen handeln. An der unten dargestellten Abbildung 22 wird die Wirkungsweise veranschaulicht. Im Inneren eines Sensors befindet sich zum einen ein Sensor-Element und zum anderen eine Auswertelektronik. Das Sensor-Element empfängt sowohl die zu messenden Eingangsgrößen als auch Störgrößen. Bei den Eingangsgrößen handelt es sich um nicht elektrische Signale, welche dem Sensor zugeführt werden. Erst im Sensor-Element werden diese Signale in elektrische Signale umgewandelt. Da es nicht möglich ist, nur die Werte zu messen, die für einen Prozess von Bedeutung sind, fallen auch Störgrößen an. Theoretisch würden diese Größen das Ausgangssignal verfälschen. Durch Berechnungen können diese Störgrößen aber berücksichtigt werden. Von dem Sensorelement gelangen die Signale zur Auswertelektronik.

⁹⁸ (Drath 2019) S. 83

⁹⁹ (Roboter: Die Neugier des Körpers n.d.)

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Innerhalb dieses Elementes werden die elektrischen Eingangssignale so umgewandelt, dass am Ende ein Ausgangssignal entsteht, welches Steuerungen und Auswertungen ermöglicht.¹⁰⁰

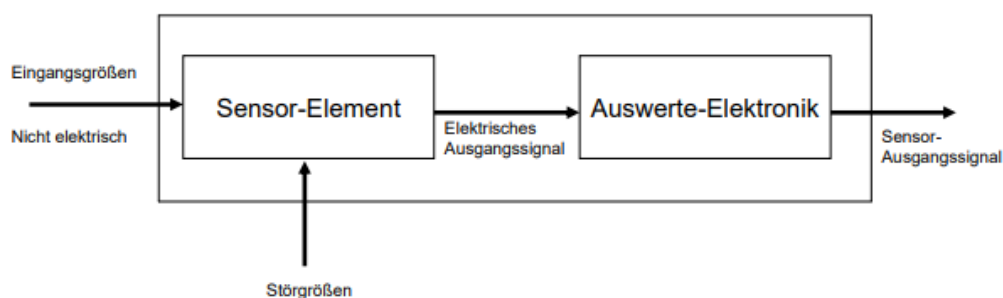


Abbildung 22: Funktion Sensor¹⁰¹

5 Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf einem Interview mit einem Mitarbeiter der Audi AG, der in der Fahrzeugmontage tätig ist. Das Interview hat am 17.09.2022 in Form eines Telefoninterviews stattgefunden. Die transkribierte Version des Interviews befindet sich in Anhang A.

In dieser Arbeit soll der Einsatz eines Roboters an der Montage in der Automobilbranche geklärt werden. Da Arbeitsschritte, die vom Menschen nicht durchgeführt werden können, bereits von Maschinen durchgeführt werden, ist es nicht notwendig, Arbeitsschritte in der Montage zu suchen, die nur ein Roboter durchführen kann. Auch bei Tätigkeiten, die sehr genau ausgeführt werden müssen, werden bereits Roboter eingesetzt, da sie dem Menschen in diesen Punkten überlegen sind. Theoretisch bestünde zwar die Möglichkeit noch mehr Roboter an der Montage einzusetzen um die Effizienz und Effektivität zu steigern, jedoch ist dies nicht Thema dieser Arbeit. Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene Arbeitsbedingungen zu finden, bei denen aktuell noch Personen eingesetzt werden, ein Roboter jedoch sinnvoller wäre, da die Arbeiter während der Arbeit gesundheitsschädliche Einflüsse erleiden. Das heißt, es geht nicht um den sturen Ersatz des Menschen, sondern um einen sinnvollen Maschineneinsatz zur Entlastung der Menschen, der ohne KI nicht möglich wäre. Die Anwendung an der Bandmontage soll anschließend anhand eines konkreten Beispiels vorgestellt werden, welches aber nur eine von vielen Möglichkeiten darstellen soll.

Es wurden nun alle relevanten Themengebiete erklärt, um auf die Kernfrage der Arbeit einzugehen. Als Erstes soll der Einsatzgebiet behandelt werden. Da es bereits Arbeitsschritte gibt, welche von Robotern durchgeführt werden, wäre eine Ersetzung durch einen Roboter mit KI nicht sinnvoll, da der

¹⁰⁰ (Hering/Schönfelder 2018) S. 1f

¹⁰¹ Ebenda S. 1

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Roboter seine Aufgabe bereits ohne KI fehlerfrei erledigen kann. Des Weiteren gibt es Aufgaben, welche der Mensch ohne Probleme eigenständig erledigen kann. Das sind vor allem Arbeiten außerhalb des Fahrzeuges, wie die Anbringung des Heckscheibenwischers. Dieser befindet sich bei geschlossener Heckklappe auf Höhe des Oberkörpers, wodurch keine Änderung der Körperhaltung notwendig ist.

Es gibt auch verschiedene Tätigkeiten, die zwar problemlos durchgeführt werden können, bei denen jedoch die Umgebung eine Belastung für den Arbeiter darstellt. Dies kann in Form einer benachbarten Maschine auftreten, die Lärm verursacht, der einen Grenzwert überschreitet oder durch dauerhafte Vibration, welche sich auf den Körper auswirken. Wird ein Arbeiter an so einer Stelle eingesetzt, so ist es üblich, dass dieser am Ende des Monats zusätzlich zu seinem Lohn verschiedene Zuschläge erhält, da er an einem sogenannten Gefahrenarbeitsplatz arbeitet. In solchen Fällen wäre ein Einsatz eines Roboters mittels künstlicher Intelligenz denkbar, da ein dauerhafter Robotereinsatz an solchen Stellen zu einer Verbesserung körperlicher und geistiger Gesundheit führen kann. Hierbei müsste die Zumutbarkeit der Arbeit für einen Menschen betrachtet werden. Zudem müsste Rentabilität, also ob es sich lohnt eine Maschine einzusetzen und somit Zuschläge entfallen, analysiert werden. Da eine solche Betrachtung den Rahmen der Arbeit überschreiten würde, werden Arbeiten dieser Art nicht betrachtet.

Des Weiteren werden Arbeiten im Innenraum des Fahrzeuges betrachtet. Hierbei ist es oft unvermeidlich, sich für spezielle Verschraubungen in das Fahrzeug hineinbeugen bzw. sich ins Innere des Fahrzeuges zu setzen. Es bestünde zwar die Möglichkeit, das Fahrzeug an die Höhe der Arbeiter anzupassen, jedoch ist es durch die Anordnung der Arbeitsschritte oftmals nicht möglich, das Fahrzeug jedes Mal in der Höhe zu verstellen, da dies zu zeitintensiv wäre. Deswegen befindet sich das Fahrzeug für gewöhnliche Arbeiten auf Bodenhöhe. Durch den enormen Zeitdruck, den der Arbeiter während eines Taktes hat, wird oftmals die richtige ergonomische Haltung vernachlässigt, was auf Dauer zu körperlichen Beschwerden führen kann. In solchen Fällen wird von einem Zuschlag für den Arbeiter abgesehen, da eine theoretische Einhaltung möglich wäre, aber eine praktische Umsetzung nicht. Vor allem in solchen Fällen, in denen ein Mensch mit höherer Wahrscheinlichkeit Folgeschäden aufgrund von Fehlhaltungen erfährt, ist ein Einsatz von KI-Robotern in Betracht zu ziehen und teilweise auch notwendig.

Ein passendes Beispiel hierfür wäre die Gurtverschraubung. Um den Arbeitsschritt der Gurtverschraubung durchführen zu können, ist es notwendig, sich mit dem Oberkörper in das Fahrzeug zu begeben, da sich der Verschraubpunkt an der Unterseite der B-Säule befindet. Als Referenz für die nachfolgenden Ausführungen wird der Standort Ingolstadt des Automobilherstellers Audi genommen.

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Laut einer Pressemitteilung fährt alle 30 Sekunden ein Fahrzeug vom Band (Stand 2015).¹⁰² Da üblicherweise ein Drei-Schicht-Betrieb an der Bandmontage angewandt wird, wird davon ausgegangen, dass jede Schicht 8 Stunden dauert. Rechnet man die 30 Sekunden auf 8 Stunden hoch, so erhält man eine Fahrzeugfertigungstellung von ca. 960 Einheiten. Da es in Ingolstadt 3 Montagelinien gibt, werden pro Linie ca. 320 Fahrzeuge in einer Schicht gefertigt. Das bedeutet, dass sich ein Arbeiter 320-mal in ein Fahrzeug beugen muss, um eine Schraube anzuziehen. Auf Dauer kann dies zu Rückenschmerzen und ähnlichen Beschwerden führen. Des Weiteren werden für die Gurtverschraubungen zwei Mitarbeiter benötigt - also einen für jede Seite. Hier wäre ein Robotereinsatz sinnvoll, um den Menschen vor diesen Folgeschäden zu bewahren und zeitgleich eine Effizienz-Steigerung zu bewirken. Der Grund, warum es noch keinen Einsatz eines Roboters gibt, ist die fehlende Anpassungsfähigkeit des Roboters in diesem Arbeitsschritt. Im Grunde genommen wäre der Arbeitsvorgang wie folgt: die Schraube aus der Kiste entnehmen, Werkzeug aus der Halterung entnehmen, in das Fahrzeug hineinbeugen, Schraube ansetzen, Werkzeug festhalten und Schraube eindrehen, bis das Drehmoment erreicht wird. Anschließend wird das Fahrzeug samt Werkzeug verlassen und das Auto begibt sich zum darauffolgenden Takt. Das wäre mithilfe eines starren Industrieroboters auch möglich. Auf einer Linie in der Fahrzeugmontage fahren allerdings oftmals mehr als nur ein Modell und von diesem Modell auch verschiedenen Varianten wie zum Beispiel Limousine oder Sportback. Auch wenn die Gurtverschraubung an den Fahrzeugen gleichbleibt, entstehen an den unterschiedlichen Modellen Zusatzaufgaben. Selbst diese Aufgaben wären mit einem starren IR umsetzbar, jedoch wäre ein großer Aufwand im Hinblick auf die auszutauschenden Daten notwendig. Die größte Herausforderung ist das Auftreten eines Fehlers. Während des Arbeitsschrittes können verschiedene Fehler auftreten. Einer der häufigsten Fehler ist die Nicht-Erreichung des Drehmomentes an der Schraube des Gurts. Im Normalfall kann der Fehler mit einem einfachen raus- und wieder eindrehen der Schraube behoben werden. Dies wird 2-3-mal wiederholt. Falls dieser Lösungsweg keinen Erfolg bringt, wird eine neue Schraube aus der Kiste entnommen, was oftmals zu einer Fehlerbehebung führt. Im letzten Schritt wird mit einem Gewindeschneider das Gewinde der Bohrung nachgebohrt und anschließend mit einer neuen Schraube verschraubt. Falls man an diesem Punkt angelangt ist, ist die Taktzeit höchstwahrscheinlich überschritten und das Band steht. Einen solchen Fehlerfall könnte der starre Roboter nicht mehr beheben und Arbeiter müssen hinzugezogen werden. Mit Hilfe der KI können diese Fehlerfälle trainiert werden und eine passende Lösung für jeden Fehlerfall erlernt werden. Im Grunde handelt es sich immer um die gleichen Fehlerfälle, die aber nicht genau beschrieben werden können, da das Ausmaß des Fehlers unterschiedlich stark sein kann. Auch an den Zusatzaufgaben können Fehler auftreten, welche

¹⁰² (Standort Ingolstadt n.d.)

ebenfalls erlernt und trainiert werden müssen. In dem speziellen Fall der Gurtverschraubung handelt es sich bei den Zusatzaufgaben um Befüllung des Kühlmittels und Lösen eines Schlauches. Der Stand der Technik ist für den weiteren Verlauf der Arbeit von großer Bedeutung, denn es ist nicht das Ziel, eine komplette Innovation der Bandmontage durchzuführen, sondern an vorhandenen Techniken anknüpfen und Anpassungen in Richtung einer teilweise KI-Fähigen Montage durchzuführen. Die Montage im Allgemeinen wurde bereits im Kapitel 2.2 beschrieben. Bei der Produktion von Fahrzeugen gibt es eine Besonderheit. Fahrzeuge werden nicht an einem Ort montiert, sondern werden nach dem Prinzip der Fließbandfertigung hergestellt.¹⁰³ „Die Fließfertigung ist eine ortsveränderliche Fertigung, bei der die wesentlichen Betriebsmittel ortsfest sind und nach Objektgesichtspunkten zu Organisationseinheiten (Fertigungslinie mit Stationen als Arbeitsplätze) zusammengefasst und platziert werden. Innerhalb einer Organisationseinheit gilt eine feste Sequenz mit weitgehend einheitlichen Bearbeitungszeiten (Taktzeit)“.¹⁰⁴ Innerhalb dieses Montageprozesses gibt es sogenannte Techniktake. Diese Take sind für die Arbeiten der Roboter vorgesehen. Während ein Arbeiter innerhalb eines Taktes sich mit dem Fahrzeug mitbewegen kann, ist es einem IR nicht möglich, dem Fahrzeug zu folgen. Innerhalb eines Techniktaktes wird von einer Fließmontage in eine getaktete Montage gewechselt. Dabei hält das Band vor einem Roboter an und der IR kann seinen Arbeitsschritt durchführen. Sobald die Tätigkeit abgeschlossen ist, wird das Band wieder bewegt. Ein großer Nachteil dieses Ansatzes sind die verlorenen Zeiten zwischen den einzelnen Takten.¹⁰⁵

Ein Einsatz von mobilen Robotern bzw. angepasst an die Montage von mobilen Manipulatoren ist heutzutage bereits gegeben. Dabei handelt es sich um eine Zusammensetzung aus einem Roboterarm und einem eigenständigen fahrbaren Untersatz.¹⁰⁶ Beim Einsatz ist eine Minimierung der Komplexität erforderlich, da die Abläufe der freibewegbaren Roboter genaustens definiert werden müssen.¹⁰⁷ Zwar wäre ein Einsatz von mobilen Manipulatoren theoretisch möglich, jedoch ist die Anzahl der aktiven Roboter aktuell wegen den benötigten speziellen Rahmenbedingungen noch sehr gering.¹⁰⁸ Die Abbildung 23 zeigt einen mobilen Manipulator. Im Grunde besitzt der Roboter die notwendigen Fähigkeiten die ein Roboter mit KI an der Bandmontage ebenfalls benötigt. Zum einen kann durch die Reifen ein Weg zurückgelegt werden und zum anderen kann mithilfe des Knickarmroboters mit der Umgebung interagiert werden. Aus diesem Grund wird vor den kommenden Fall der mobile Manipulator als Bezugsmaschine angesehen.

¹⁰³ (Ipa/Bix 2019) S. 7f

¹⁰⁴ (Dangeknaier 2013)

¹⁰⁵ (Ipa/Bix 2019) S. 8f

¹⁰⁶ Ebenda S. 15

¹⁰⁷ Ebenda S. 16

¹⁰⁸ (Hägele et al. 2011)



Abbildung 23: Mobiler Manipulator¹⁰⁹

Nun gilt es die Frage der Umsetzung zu klären. Um eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine gewährleisten zu können, muss zuvor die Art der Zusammenarbeit geklärt werden. Im Grunde gibt es zwei verschiedenen Möglichkeiten einer Mensch-Roboter-Interaktion, nämlich eine Mensch-Roboter-Koexistenz und eine Mensch-Roboter-Kollaboration. Ziel dieser Interaktionen ist es, die jeweiligen Stärken miteinander zu verknüpfen, um somit das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.¹¹⁰

Mensch-Maschinen-Koexistenz:

In diesem Ansatz arbeiten Mensch und Maschine in einem gemeinsamen Arbeitsraum. Dabei verfolgt sowohl der Mensch als auch die Maschine ihr eigenes Ziel - was bedeutet, dass keine Kooperation stattfindet.¹¹¹

Mensch-Maschinen-Kooperation:

Anders als bei der Koexistenz arbeiten Roboter und Mensch aktiv zusammen. Dabei handelt es sich oftmals um unterstützende Arbeiten des Roboters.¹¹² Für die Entlastung eines Arbeiters ist sowohl die Kooperation als auch die Koexistenz ein geeigneter Lösungsansatz. Je nach Art der Tätigkeit und Belastung der Person muss in jeder Art die geeignete Mensch-Maschinen-Kooperation angewandt werden. Für den weiteren Verlauf der Arbeit wird jedoch nur noch die Koexistenz betrachtet, da eine Arbeitskraftersetzungsanalyse im oben genannten Gurtfall analysiert werden soll.

Zuerst soll der Vorgang besprochen werden und anschließend werden die benötigten Methoden der KI auf die aktuell noch ungelösten Fälle angewandt. Dieser Vorgang ist auf den in diesem Kapitel besprochenen Fall angewandt und gilt lediglich als Beispiel einer möglichen Umsetzung. Die Methoden

¹⁰⁹ (Robotnik 2022)

¹¹⁰ (Ipa/Bix 2019) S. 17

¹¹¹ Ebenda S. 18

¹¹² Ebenda S. 20

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

der KI können ebenso auf andere Anwendungsgebiete angewandt werden. Um den Fall eindeutig für die KI beschreiben zu können, werden zunächst sämtliche Rahmenbedingungen geklärt. Die Hauptaufgabe des IR besteht darin, die Gurtverschraubung eigenständig zu befestigen. Neben der Hauptaufgabe kann noch eine weitere Tätigkeit für den Roboter hinzukommen. Dabei handelt es sich um Lösen eines Schlauches im Motorraum. Entscheidungsbasis, ob die Zusatzaufgabe durchgeführt werden muss, ist der Fahrzeugtyp. Es wird angenommen, dass auf der Bandmontage zwei Fahrzeugtypen gefertigt werden. Bei Fahrzeugtyp 1 ist lediglich die Gurtverschraubung zu befestigen, bei Fahrzeugtyp 2 hingegen ist die Zusatzaufgabe noch durchzuführen. Neben der durchzuführenden Arbeit soll ein fehlerloses Ergebnis das Ziel sein und Lösungsansätze für aufkommende Fehler eigenständig durchgeführt werden. In diesem Fall gibt es zwei mögliche Fehlerbilder, die während der Tätigkeit aufkommen können. Zum einen die Nicht-Erreichung des vorgeschriebenen Drehmomentes der Schraube und zum anderen die zu schnelle Erreichung des Drehmomentes.

Da es sich um eine dauerhaft gleichbleibende Tätigkeit handelt, wird die Baumstruktur eines Algorithmus verwendet. Um das Verständnis während des kompletten Vorganges gewährleisten zu können, wird die Baumstruktur in mehreren Teilen unterteilt, um auf die Arbeitsschritte einzugehen. Des Weiteren sind die Entscheidungswege nur Beispiele und können sich je nach Anwendungsfall unterscheiden.

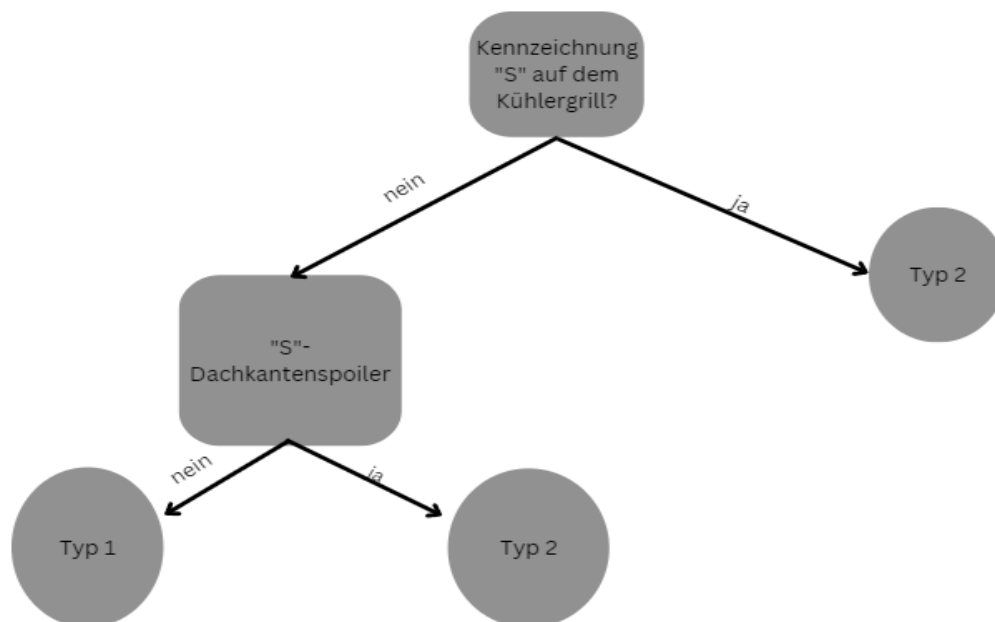


Abbildung 24: Baumstruktur-Fahrzeugtyp¹¹³

¹¹³ Eigene Abbildung

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Als erster Schritt ist es notwendig, den Fahrzeugtyp zu erkennen. Im Grunde gibt es verschiedene Möglichkeiten, dem Roboter den kommenden Fahrzeugtyp mitzuteilen. Da der Roboter neben dem Fahrzeugtyp auch gleichzeitig die Entfernung benötigt, ist eine Kamera, welche mit dem ToF (Time-of-Flight) Prinzip arbeitet, von Vorteil. Mit Hilfe der ToF-Technik werden Lichtsignale von der Kamera entsendet. Durch Auftreffen der Lichtsignale entsteht eine Reflektion, welche von einem Empfänger aufgenommen werden. Innerhalb dieses Empfängers wird die Zeit vom Absenden bis zum Empfangen des Lichtsignals gemessen und somit kann eine genaue Angabe über die Entfernung des Objektes gegeben werden.¹¹⁴ Für eine uneingeschränkte Sicht ist eine Anbringung zentral über dem Band am Montageschritt am besten. Da es sich bei dem ausgesendeten Signal um ein flächendeckendes Signal handelt, können insbesondere bewegte Objekte gut erfasst werden, weshalb sich diese Methode für die Bandmontage gut eignet.¹¹⁵ Damit der Algorithmus arbeiten kann, werden verschiedene Daten benötigt. Zur Erklärung, was die „S“-Kennzeichnung am Kühlergrill zu bedeuten hat, wird der Audi A3 und der Audi S3 verglichen. Ein Blick auf die Abbildung 25 lässt erkennen, dass sich dort auf dem Kühlergrill des Fahrzeuges in der linken oberen Hälfte ein Emblem mit der Aufschrift „S3“ befindet. Ein gewöhnlicher Audi A3 enthält dieses Emblem nicht. Mit Hilfe der ToF-Kamera kann eine Auswertung des Kühlergrills erfolgen.



Abbildung 25: Bild Audi S3¹¹⁶

Damit der Roboter den Fahrzeugtyp identifizieren kann, werden die Bilder der ToF-Kamera verwendet. Mithilfe des überwachten Lernens soll der Algorithmus die Merkmale eigenständig erkennen und zuordnen können. Wie in Kapitel 3.3 bereits erwähnt, benötigt dieser Trainingsdaten, um zu lernen.

¹¹⁴ (Bernhausen 2011) S. 11

¹¹⁵ (Hompel et al. 2020) S. 111

¹¹⁶ (Audi S3 Limousine: Preis, Motoren, Ausstattungen und Alternativen n.d.)

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Da es sich bei den Daten um zugeführte Bilder der Kamera handelt, ist die Basis des maschinellen Lernens ein Convolutional Neural Network, welches im Abschnitt 11.3 bereits erklärt wurde. Auf Grundlage des bereits erlernten Wissens ist es möglich, das neuronale Netz so zu trainieren, dass es die Merkmale eines Kühlergrills erkennt und diese anschließend zuordnet. So auch im Falle des „S3“-Emblems. Das aufgezeigte neuronale Netz in dem oberen Beispiel, als das Fahrzeug identifiziert wurde, kann ebenso auf den beschriebenen Fall des Emblems angewandt werden. Der Unterschied ist, dass die zugeführten Daten verschiedene Bilder von Kühlergrills sind und die Klassifikation am Ende entweder Audi A3 oder Audi S3 als Lösung angibt.

Ablauf des Anwendungsfalles:

Die Basis ist ein CNN, welches aufgrund von überwachtem Lernen den Fahrzeugtyp identifizieren kann. Zuerst werden dem Netzwerk Trainings- und Testdaten bereitgestellt. Das Verhältnis der Datenaufteilung liegt üblicherweise bei 70:30 für die Testdaten.¹¹⁷ Im Anwendungsfall wären dies Bilder von einem Audi A3 und Audi S3 von vorne. Durch das überwachte Lernen können Vorgaben über Merkmale getätigt werden, wie die KI das Emblem identifizieren soll. Anhand der Testdaten kann anschließend überprüft werden, ob und wie viele Fehler gemacht wurden. Wurden zu viele Fehler gemacht, so führt man dem Algorithmus weitere Trainings- und Testdaten zu, denn je mehr Daten er zur Verfügung hat, desto schneller werden die Ergebnisse verbessert.¹¹⁸ Nun besteht die Möglichkeit, dass der Kunde sich das „S“-Emblem nicht auf das Fahrzeug bestellt und somit die Bezeichnung wegfällt (siehe Abbildung 26).¹¹⁹

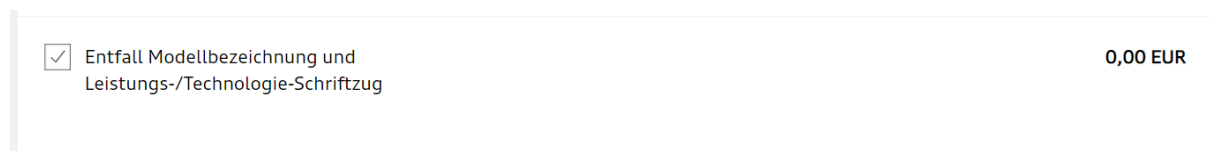


Abbildung 26: Entfernung der Modellbezeichnung (Bsp.: Audi S3)¹²⁰

Anders als die Modellbezeichnung, kann der Stoßfänger „S-Modell“ nicht abgewählt werden, was bedeutet, dass dieser auf jedem Audi S3 angebaut wird. Für einen Audi A3 hingegen ist es nicht möglich, diesen als Sonderausstattung auszuwählen.¹²¹

Sollte also der Schriftzug eines Audi S3 auf dem Kühlergrill fehlen, so kann der gesamte Stoßfänger als Unterscheidungskriterium herangezogen werden. Auch hier kann dasselbe Prinzip angewandt werden. Das neuronale Netz erhält Daten, aus denen es lernt und kann anschließend eine Voraussage treffen. Doch warum wird sich nicht gleich auf den kompletten Stoßfänger bezogen? Grund ist die Anzahl der

¹¹⁷ (Kersting et al. 2019) S. 24

¹¹⁸ (Choo et al. 2021) S. 4

¹¹⁹ (Modelle, Aktionen, Angebote | Audi Deutschland o. D.)

¹²⁰ Ebenda

¹²¹ Ebenda

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Merkmale. Je mehr Merkmale ein Algorithmus betrachtet, desto mehr Datensätze benötigt er, um zu lernen und die Rechenleistung ist höher.¹²² Aus diesem Grund soll erst das „S3“-Emblem betrachtet werden und falls keine klare Entscheidung zu „Typ 2“ getroffen werden konnte, soll der komplette Stoßfänger betrachtet werden.

Es wird die Annahme getroffen, dass das kommende Fahrzeug „Typ 1“ ist. Deswegen besitzt der Roboter nun die Aufgaben: Schraube entnehmen und in Position bringen, Schraube ansetzen und mit dem vorgeschriebenen Drehmoment befestigen. Für den nächsten Schritt wird der Algorithmus fortgesetzt (siehe Abbildung 27).

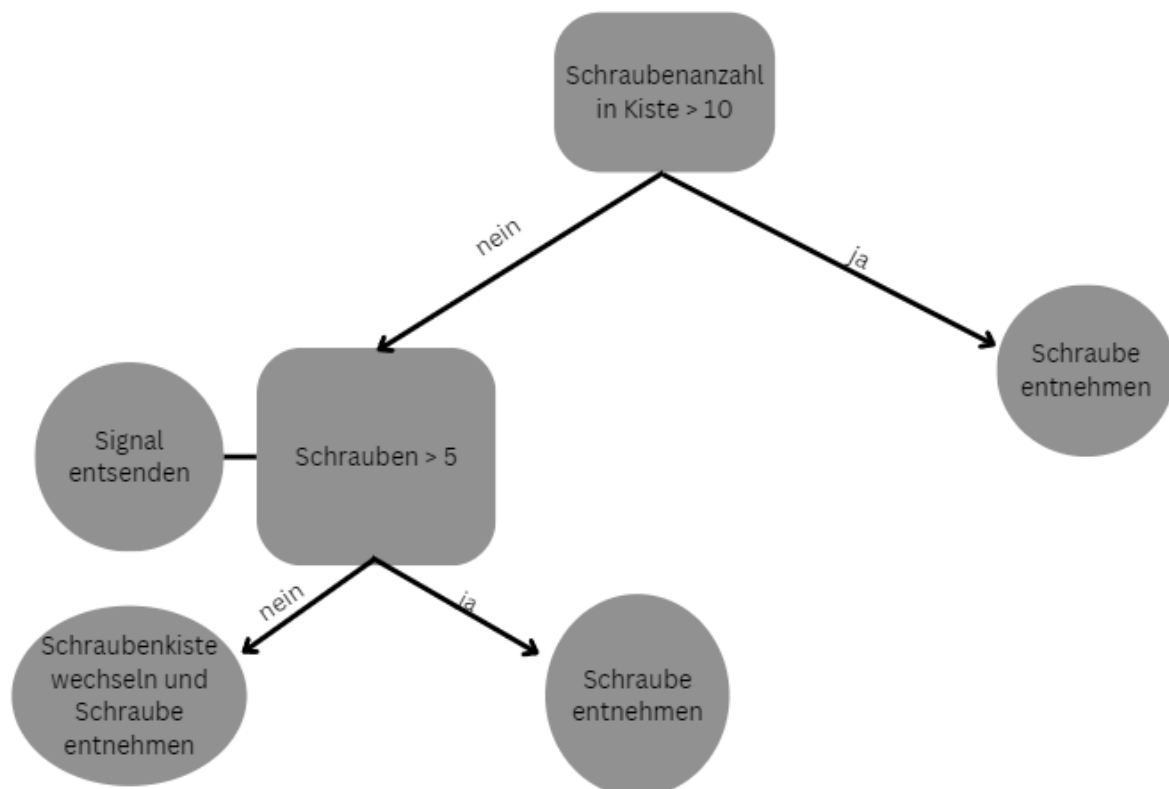


Abbildung 27: Algorithmus für Schraubenentnahme¹²³

Auch hier kann ein bereits entwickeltes System verwendet werden, welches in der Arbeit unter Kapitel 4 bereits erläutert wurde. Mit diesem Ansatz kann der Griff in die Kiste umgesetzt werden. Ein weiterer Punkt ist das Wechseln der Schraubenkiste, welcher dem Roboter noch gelernt werden muss. Damit das Band durchgehend läuft, benötigt der Roboter dauerhaft Schrauben. Wie man der oben aufgezeigten Baumstruktur entnehmen kann, benötigt der Roboter die Fähigkeit zu zählen. Mit einem

¹²² (Ege/Paschke 2021) S. 8 / S. 104

¹²³ Eigene Abbildung

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

ursprünglichen CNN erhält der Roboter zwar die Fähigkeit Schrauben in der Kiste zu erkennen, jedoch ist die Zählung der Objekte nicht möglich. Für diesen Fall gibt es ein spezielles Current Neural Network, nämlich das YOLO-Netzwerk. YOLO ausgesprochen ergibt „You only look once“ was auf Deutsch „man sieht nur einmal hin“ bedeutet.¹²⁴ Das YOLO-Netz besitzt ebenso wie das CNN die Möglichkeit, Objekte anhand von Bildern zu identifizieren. Jedoch legt das YOLO-Netz ein Gitter über das vorhandene Bild und kann theoretisch in jeder Gitterzelle ein unterschiedliches Objekt erkennen. Neben der Objektart kann auch die Objektposition und -anzahl angegeben werden. Aktueller Stand der Technik ist, dass nur ein Objekt pro Gitterzelle ermittelt werden kann. Auch hier gilt das Prinzip: je mehr Daten zur Verfügung stehen, desto schneller und besser lernt der Algorithmus.¹²⁵

Ablauf im Anwendungsfall:

Der Ablauf wird durch die Baumstruktur wiedergegeben. Bevor der IR eine Schraube aus der Kiste entnimmt, ist die Menge der verbleibenden Schrauben wichtig. Eine mögliche Anordnung der Kamera und des Roboters zeigt die Abbildung 28.



Abbildung 28: Anordnungsmöglichkeit¹²⁶

In diesem Fall wäre die Kamera starr an einem Gestell befestigt und hätte dadurch eine dauerhafte Bildübertragung. Eine weitere Möglichkeit wäre in Anlehnung an Abbildung 23 eine Kistenplatz auf dem Sockel des Roboters. Dafür würde aber eine Kamera am IR selbst benötigt werden, welche zum späteren Zeitpunkt weiter eingesetzt wird. Als ersten Schritt überprüft der Roboter mit Hilfe des YOLO-Netzes, wie viele Schrauben aktuell noch in der Kiste befinden. Bei einer Zahl über 10 nimmt sich der Roboter seine Schraube mit Hilfe der Daten und des SLAP-Prinzips. Bei einer Zahl kleiner 10 wird zuerst ein Signal an die Logistik entsendet. Durch das Signal wird der Hinweis gegeben, dass neue Schrauben

¹²⁴ (Barton/Müller 2021) S. 25

¹²⁵ (Paaß 2021) S. 143ff

¹²⁶ (Bin Picking - Griff in die Kiste - Blumenbecker o. D)

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

benötigt werden. Die Vernetzung zwischen Roboter und umliegenden Maschinen oder Systemen wurde bereits erläutert. Eine Vertiefung der Vernetzung würde in das Thema Digitalisierung 4.0 übergehen, weswegen eine genaue Funktionsweise in dieser Arbeit nicht weiter ausgeführt wird. Sobald das Signal entsendet wurde, wird erneut überprüft, wie viele Schrauben noch in der Kiste sind. Bei einer Zahl größer 5 werden weiterhin Schrauben entnommen. Bei einer Zahl kleiner 5 erfolgt ein Kistenwechsel der Schrauben. Die Zahlen sind lediglich als Beispiel anzusehen, wodurch eine Veränderung des Wertes bei einem realen Einsatz möglich ist. Der Wert des Kistenwechsels wurde nicht auf 0 gesetzt, da ansonsten die Gefahr besteht, dass der Roboter aufgrund fehlender Schrauben keine Schraube entnehmen kann und es zum Bandstillstand kommt.

Im letzten Arbeitsschritt des Fahrzeugtyps 1 wird die Schraube des Gurtes festgezogen. Über den Bewegungsablauf des Roboters wird nach dem Anziehen der Schraube berichtet. Zuerst wird die Baumstruktur des Algorithmus weiter fortgeführt. Durch einen Beschluss des europäischen Rates ist die Lochvorgabe für eine Gurtverschraubung vorgegeben. „Die Verankerung muß ein Loch mit einem Gewinde von 11,11 mm (7/16) 20 UNF 2B aufweisen.“¹²⁷ Aufgrund der vorgegebenen Abmaße, kann das Drehmoment einer Tabelle entnommen werden, was in diesem Fall 41NM entspricht.¹²⁸

¹²⁷ (RICHTLINIE DES RATES vom 18. Dezember 1975 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Verankerungen der Sicherheitsgurte in Kraftfahrzeuge 1981)

¹²⁸ (UNF Gewinde Tabelle o. D.)

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

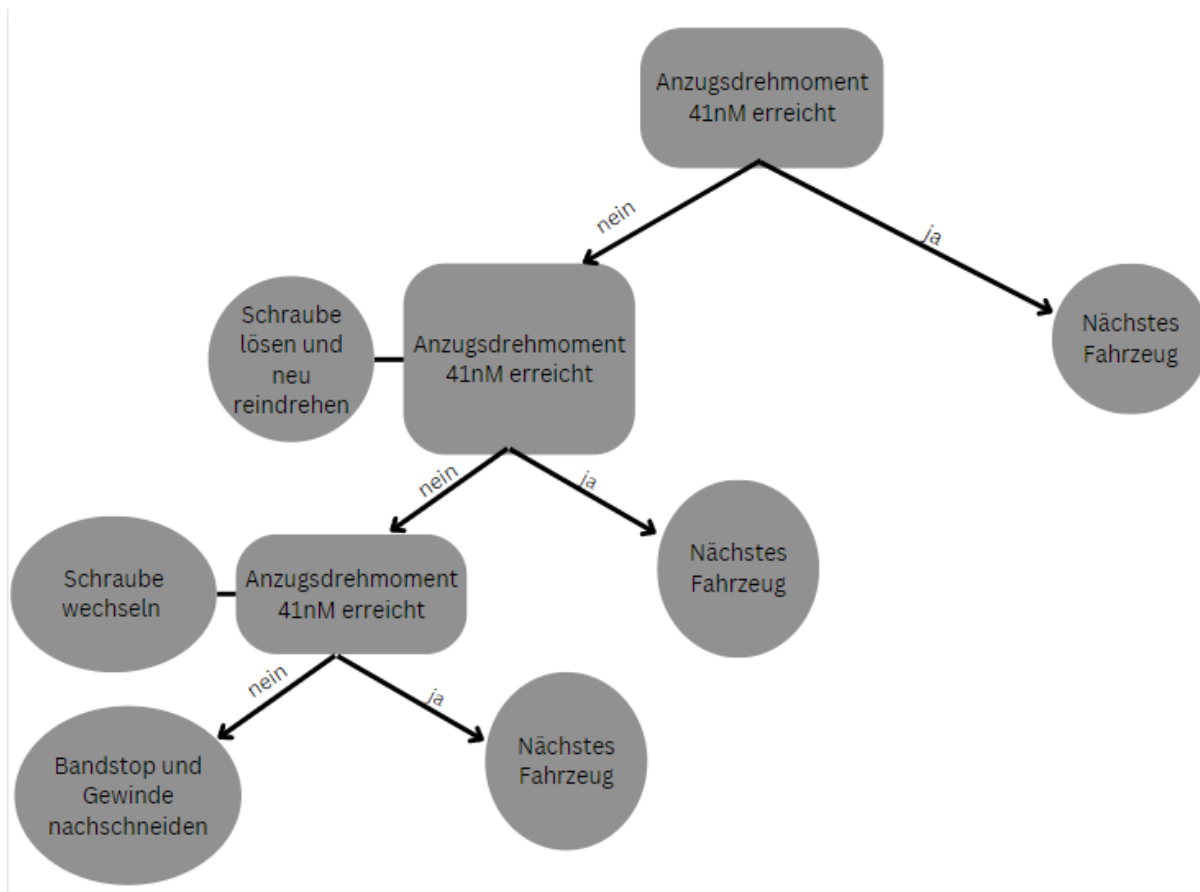


Abbildung 29: Baumstruktur Schraube anziehen¹²⁹

Die Abbildung 29 zeigt die Hauptaufgabe des Roboters an der Montage. Diesmal sind die Eingabedaten für das neuronale Netz keine Bilder, sondern physikalische Größen, die der IR während der Montage misst. Eine weitere Änderung ist die Anzahl der zu vergleichenden Parameter. Zum einen ist die Drehmomenterreicherung von 41 NM entscheidend und zum anderen der Kraftverlauf, welcher beim Anziehen des Drehmoments entsteht (siehe Abbildung 30).

¹²⁹ Eigene Abbildung



Abbildung 30: Drehmoment Kurve¹³⁰

Um das Drehmoment und den Drehwinkel erfassen zu können, reicht in diesem Fall kein optischer Sensor. Für diesen Zweck eignet sich ein Dehnungsmessstreifen(DMS)-Sensor. Der DMS-Sensor reagiert auf Druck. Durch Druck auf den Sensor verändert sich der Widerstand des Sensors. Durch Berechnungen kann anschließend sowohl das Drehmoment als auch der Drehwinkel bestimmt werden. Für den genauen Ablauf der Berechnungen wird auf das Buch *Fahrzeugmesstechnik* von Dirk Goßlau verwiesen.¹³¹ Wie bereits erwähnt, soll sowohl das Drehmoment als auch die Kurve für den Vorgang des Schraubenanziehens berücksichtigt werden. Im Prinzip handelt es sich um dasselbe Vorgehen wie bei der Bilderkennung. Zuerst muss der Algorithmus anhand unterschiedlicher Inputdaten trainiert werden. In diesem Vorgang lernt der Algorithmus. Anders als bei der Fahrzeugerkennung ist die Grundlage kein CNN. Da es sich um physikalische Daten handelt, ist eine Datenkompression nicht notwendig. Diesmal wird ein Recurrent Neural Network als Grundlage betrachtet. Durch die verbundenen Neuronen entsteht ein Gedächtnis, auf welches während des Prozesses zurückgegriffen werden kann.¹³² Ziel der KI in diesem Schritt ist es, den Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehwinkel interpretieren zu können und mit Abgleich der vorangegangenen Daten eine Aussage treffen zu können, ob das Drehmoment erfolgreich angezogen wurde oder ein Fehlerfall aufgetreten ist. Durch das Gedächtnis der KI wird der Abgleich mit den vorangegangenen Daten ermöglicht und durch das überwachte Lernen können die Aussagen über das

¹³⁰ (BAHR – visuelle Kommunikation 2016)

¹³¹ (Goßlau 2020)

¹³² (Aust 2021) S. 186ff

Einbringung in die Montage in Verbindung mit einem Fallbeispiel

Ergebnis getroffen werden. Durch die Baumstruktur lernt der Algorithmus, wie er sich bei welchen Fällen zu verhalten hat. Durch die erhöhte Anzahl der Wiederholungen werden die Fehler des Algorithmus minimiert, bis sie kaum mehr auftreten und ein Einsatz in der Montage möglich ist. Das Training des Algorithmus erfolgt digital. Erst nach Erreichung der gewünschten Zuverlässigkeit wird die Maschine eingesetzt.

Der Vorgang des Fahrzeugtyps 1 ist somit abgeschlossen. Durch eine Verbindung der Teilalgorithmen entsteht ein großer Gesamtalgorithmus, welcher den Vorgang beschreibt und die Basis für die Arbeit darstellt. Durch die verschiedenen neuronalen Netze wird in allen Tätigkeiten das maschinelle Lernen angewandt werden und so ein reibungsloser Verlauf ermöglicht. Die Tätigkeit bei eines Fahrzeugtyps 2 ist fast deckungsgleich mit der Arbeit bei einem Fahrzeugtyp 1. Lediglich zwischen der Fahrzeugerkennung und der Schraube aus der Kiste Entnahme liegt ein Zwischenschritt (siehe Abbildung 31).

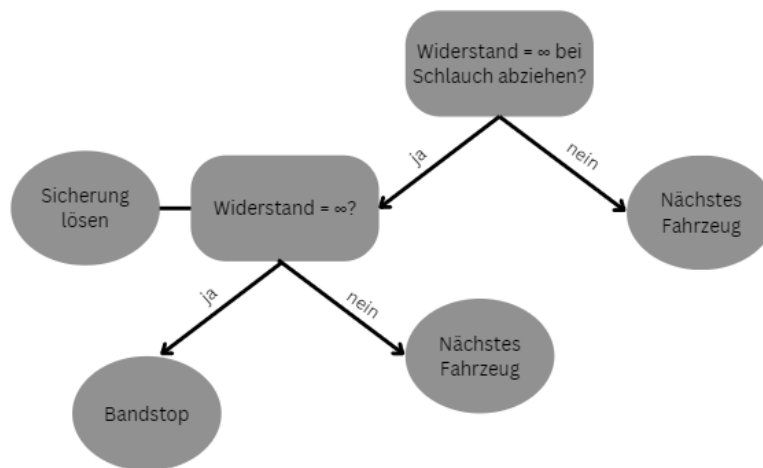


Abbildung 31: Algorithmus Schlauchabziehen¹³³

Um eine Wiederholung der Aussagen zu vermeiden, wird nicht mehr auf den genauen Vorgang des Schrittes eingegangen. In diesem Schritt werden erneut anhand von Sensoren Werte ermittelt, welche anschließend abgeglichen werden, um so zu einer Lösung zu gelangen. Die Vorgehensweise ist mit der des Drehmomentes vergleichbar, weshalb die Beschreibung des Drehmomenten-Schrittes auch auf die Entfernung der Schläuche angewandt werden kann.

Für die Bewegungsabläufe und Interaktion mit der Umwelt wird auf das Kapitel 4 verwiesen. In Verbindung mit dem mobilen Manipulator wird es dem Roboter ermöglicht, mit seinem Arbeitsraum zu interagieren. Auch in diesem Fall werden verschiedenen Sensoren benötigt, um Hindernisse zu erkennen und Bewegungen genau zu steuern, was auf die SLAM-Technik zurückfällt. Auch hier kann keine pauschale Funktionsweise angewandt werden, da sich jedes Arbeitsumfeld unterscheidet. Auf

¹³³ Eigene Abbildung

Fazit

Basis der oben genannten Techniken, kann ein passender Bewegungsablauf am Arbeitsplatz generiert werden.

Für das Kapitel 5 ist noch eine abschließende Ergänzung zuzufügen. Im vorliegenden Fall wurde ein konkretes Beispiel beschrieben. Die Methoden der Bild- und Drehmomenterkennung können zudem auch auf andere Arbeitsschritte angewandt werden. Jeder Arbeitsschritt bringt verschiedene Herausforderungen mit sich. Dadurch ist eine Anpassung an den gewollten Arbeitsschritt unvermeidbar. Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, ist der aktuelle Stand der Forschung noch nicht soweit, dass die KI auf sämtliche Themengebiete agieren kann, sondern aktuell nur auf ein Gebiet angewendet werden kann. Würde der IR-Roboter mit KI an einen anderen Arbeitsplatz gestellt werden, würde diese nicht mehr funktionieren. Deshalb soll nochmals betont werden, dass das Beispiel nicht eins zu eins übertragbar ist. Jedoch wurden damit die Schritte der Fahrzeugerkennung, der Bauteilentnahme und des Schraubenanziehens mit vorgegebenem Drehmoment beschrieben, was auf die wesentlichen Aufgaben in der Montage zurückfällt.

6 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde auf Basis der künstlichen Intelligenz ein Arbeitsschritt der Bandmontage in einer Automobilproduktion vollständig automatisiert dargestellt. In diesem Abschnitt der Arbeit werden die oben aufgeführten Inhalte zusammengefasst und bewertet.

Hinter dem Begriff „künstliche Intelligenz“ steckt weitaus mehr als ein menschenähnlicher Roboter. Es bedarf vieler unterschiedlichen Techniken und Methoden, um einen Roboter die notwendige „Intelligenz“ beizubringen. Dafür sind verschiedene Algorithmen und neuronale Netze nötig. Roboter mit künstlicher Intelligenz haben die Möglichkeiten zu lernen, sich zu bewegen, Daten abzugleichen und danach zu handeln und eigenständige Lösungen für Probleme zu finden - sei es eine Bildklassifizierung oder mobiler Manipulator, alles handelt auf Basis der KI.

Wie eingangs erläutert, ist die Industrie 4.0 ein aktuelles Thema in der Arbeitswelt. Mit der Industrie 4.0 werden Arbeitsschritte automatisiert und Maschinen mit einander vernetzt, um die Effizienz der Produktion zu steigern, Arbeiter zu entlasten und das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Arbeitsschritte, welche dem Menschen starke Schäden aufgrund von Fehlbelastung oder Überbeanspruchung zuführen können, werden bereits von Maschinen ausgeführt. Jedoch gibt es aktuell noch Schritte, welche dem Arbeiter zwar in erster Linie nicht schaden, aber aufgrund der dauerhaften Belastung zu nachträglichen Beschwerden führen kann. Bei diesen Schritten handelt es sich oft um Tätigkeiten, die in der Theorie ergonomisch ausgeführt werden können, jedoch unter dem Zeitdruck an der Bandmontage nicht umsetzbar sind. So fällt der Arbeiter aus der eigentlich

Fazit

ergonomischen Haltung und begibt sich in eine Routine, welche auf Dauer seinem Körper Schaden zufügt.

Wie in dem oben aufgezeigten Anwendungsbeispiel, ist einer dieser Arbeitsschritte die Gurtmontage in der Fahrzeugproduktion. Durch die Notwendigkeit, die Höhe der Fahrzeuge anzupassen, kann dieser Arbeitsschritt nicht von einem starren Industrieroboter durchgeführt werden. Mit Hilfe der künstlichen Intelligenz und den passenden Methoden, gelang es, ein Konzept zu erstellen, indem ein Roboter mittels KI diesen Arbeitsschritt voll automatisiert durchführen kann, ohne aktiv vom Menschen unterstützt werden zu müssen. Hierbei wurden die Methoden der Bilderkennung, des Datenvergleichs und das Lernen einer Maschine angewandt. Alles in allem ist ein Einsatz eines KI-Roboters realisierbar und sinnvoll. Der in dieser Arbeit beschriebene Anwendungsfall dient lediglich als Beispiel. Die Methoden können für verschiedenste Arbeitsschritte angepasst und optimiert werden. Jede Integration eines KI-Roboters muss vorab an die Tätigkeit angepasst werden und bedarf viel Vorarbeit und Daten für den Roboter. Zusammenfassend kann die Aussage getätigt werden, dass viele Arbeitsschritte von einem speziell dafür trainierten Roboter getätigt werden können. Vor Anwendung eines Roboters sollte zuerst die Frage der Notwendigkeit eines Roboters anstelle eines Menschen gestellt werden. Wird diese Frage mit Ja beantwortet, so bietet die KI nahezu grenzenlose Möglichkeiten bezüglich eines Einsatzes an der Bandmontage.

Durch die Automatisierung besteht die Möglichkeit, einen Großteil der Schritte von Maschinen ausführen zu lassen. Für den Menschen ist dies teilweise suboptimal, für Unternehmen stellt dies eine Chance dar, um die maximale Effizienz aus Prozessen zu gewinnen. Will ein Unternehmen zu einer Smart Factory werden, so kann eine Prognose über den Einsatz solcher KI-Roboter getätigt werden. Man kann davon ausgehen, dass immer mehr dieser Maschinen in die Bandmontage integriert werden, da es auf lange Sicht rentabler für das Unternehmen ist. Eine pauschale Aussage hingegen kann aufgrund der unterschiedlichen Ansichten eines Unternehmens nicht getätigt werden. Sowohl in der Theorie als auch in der Praxis ist ein Einsatz von KI-Maschinen möglich, teilweise sogar notwendig. Ob und in welchem Grad ein Unternehmen solche Robotertypen einsetzt, ist jedem Unternehmen selbst überlassen.

Für die Zukunft sollte die Forschung der KI im Vordergrund stehen. Es nahezu grenzenlosen Möglichkeiten, welche man mit der KI erreichen kann. Die Zukunftsvision, dass Roboter auf verschiedenen Themengebieten Lösungen finden, ohne darauf programmiert zu sein ist längst bei jedem KI-Forscher im Kopf. Wie im Text erwähnt, kann dies aber noch bis 30 Jahren dauern, um einen Durchbruch zu erhalten. Die Möglichkeiten sind vorhanden, jetzt gilt es die Umsetzung zu realisieren.

Anlage A

Anlage A – transkribiertes Interview mit Mitarbeiter der Audi AG am 17.09.2022

O: Guten Tag Herr Gerstmeyr.

G: Hallo Herr Oswald.

O: Für die Vollständigkeit: Ihr Name ist M. Gerstmeyr und Sie arbeiten aktuell für die Audi AG und haben bereits 5 Jahre Berufserfahrung an der Bandmontage. Ist das richtig?

G: Korrekt.

O: Zuerst möchte ich ein paar Fragen allgemein zur Montage stellen. Was sind denn die Hauptaufgaben in der Montage?

G: Je nach Modell die richtigen Bauteile am und im Auto anbringen.

O: Wie werden die Bauteile den angebracht?

G: Das ist unterschiedlich. Manche Teile werden geklebt andere wiederum geclipst und andere werden verschraubt.

O: Welche der Befestigungsmöglichkeiten ist den die häufigste?

G: Ich habe noch nicht jeden einzelnen Arbeitsschritt durchgeführt, aber bei denen, die ich bis jetzt gemacht habe, war das meiste eine Schraubverbindung.

O: Ich möchte Ihnen gerne ein paar Fragen stellen bezüglich Ihrer Tätigkeit an der Bandmontage. Zuerst möchte ich auf Ihre Tätigkeit in der Montage eingehen. Welche Aufgaben haben Sie in der Montage?

G: Unsere Abteilung ist in verschiedene Aufgaben unterteilt. Jeder beherrscht jede Aufgabe zumindest ein bisschen. Ich befestige hauptsächlich die Gurte in den Fahrzeugen.

O: Können Sie den Ablauf beschreiben?

G: Je nach Modell müssen unterschiedliche Aufgaben getätigt werden. Bei allen Fahrzeugen muss die Gurtverschraubung per Schraube befestigt werden. Bei manch anderen Modellen müssen zusätzlich noch die Kühlmittelschläuche im Motorraum abgesteckt werden.

O: Können Sie auf beide Aufgaben genauer eingehen?

G: Beim Gurt nimmt man zuerst die Schraube aus der Kiste und das Werkzeug hat man sowieso immer dabei. Wenn das Fahrzeug kommt, beugt man sich in das Fahrzeug hinein und setzt die Schraube mit dem Gurt in das vorgegebene Loch. Anschließend zieht man die Schraube an und das wars. Bei den Schläuchen geht man einfach zum Motorraum und steckt die Schläuche von einer Leitung ab.

O: Ich hätte ein paar Fragen bezüglich beider Aufgaben. Zuerst die Gurtverschraubung. Welches Drehmoment wird verwendet?

Anlage A

G: Das weiß ich tatsächlich gar nicht. Das Werkzeug ist schon voreingestellt, sodass man nur drücken braucht.

O: Funktioniert dies immer beim ersten Mal?

G: Oftmals ja, aber nicht immer.

O: Wie ist der Ablauf bei einem Fehlversuch?

G: Zuerst wird die Schraube einfach raus und nochmal rein gedreht. Oft reicht das schon aus. Falls das nicht funktioniert, wird die Schraube nochmal raus gedreht und man nimmt sich eine neue Schraube aus der Kiste. Anschließend dreht man diese wieder rein und falls das immer noch nicht funktioniert, wird die Bohrung mit einem Gewindebohrer nachgeschnitten und anschließend sollte es funktionieren.

O: Kann es sein, dass es nach dem Gewindenachschneiden immer noch nicht funktioniert?

G: Bestimmt kann das sein, aber ich habe das noch nie erlebt, selbst das Gewindenachschneiden ist sehr selten.

O: Wie oft passiert der erste Fehler, also dass die Schraube nicht rein geht beim ersten Versuch?

G: Hin und wieder. Ich würde sagen so 5–10 Mal am Tag bei mir.

O: Das hört sich alles sehr stressig an, falls es nicht funktioniert. Haben Sie denn auch Stress?

G: Wenn man die Schraube raus und wieder rein schrauben muss, hat man keinen Stress. Wenn man eine neue Schraube holen muss, ist man schon gestresster, weil man hinter der Taktzeit liegt und die Zeit wieder reinarbeiten muss. Beim Gewindeschneiden steht das Band dann eh. Es ist nicht möglich, das in der kurzen Zeit alles zu schaffen.

O: Nun zu der anderen Tätigkeit: Befinden sich die Schläuche immer am selben Ort im Motorraum?

G: Ja, die sind immer am selben Ort.

O: Gibt es dort auch einen Fehlerfall?

G: Ja aber nur einen. Die Schläuche sind nur lose auf die Leitungen gesteckt. Hin und wieder kommt es mal vor, dass ein Schlauch verrastet und dann muss man die Sicherung mit einem Druck lösen.

O: Wo befindet sich die Sicherung?

G: Direkt oben auf dem Schlauch.

O: Ich hätte noch ein paar allgemeine Fragen an Sie. Sie meinten ja, dass es teilweise stressig werden kann. Kann man denn in einer Stresssituation ergonomisch arbeiten?

G: Es kommt drauf an wie stressig. Bei enormem Stress ist es so oder so nicht möglich, die richtige Körperhaltung einzunehmen. Selbst wenn man stressfrei ist, nutzt keiner die ergonomische Haltung da dadurch so viel Zeit verloren geht. Jeder beugt sich einfach ins Auto und macht den Schritt, so geht's am schnellsten und einfachsten.

Anlage A

O: Haben Sie durch den Ablauf irgendwelche Probleme?

G: Ich nicht nein. Aber zwei aus meiner Gruppe können diese Arbeit nicht mehr durchführen, weil sie starke Rückenschmerzen haben.

O: Kamen diese Rückenschmerzen durch die Arbeit?

G: So genau kann man das glaub ich gar nicht sagen. Wahrscheinlich spielen mehrere Faktoren mit, aber eine der Ursachen liegt sicherlich in der Tätigkeit.

O: Gibt es abgesehen von der Fehlhaltung noch irgendwelche Umstände, welche die Arbeit erschweren?

G: Ich sag mal so, in der Montage kannst du nie ruhig arbeiten, irgendeine Maschine läuft immer. Wenn man Pech hat, ist eine Maschine direkt daneben. Das kann dich auf Dauer schon verrückt machen.

O: Werden die Arbeitsplätze so verteilt, dass die Monteure dem Lärm aus dem Weg gehen?

G: Teils teils. Wenn es möglich ist, ja, aber manchmal ist es auch nicht möglich und dann hast du das Pech und hast neben dir eine laute Maschine.

O: Wird dagegen etwas unternommen?

G: Indirekt. Gehörschutz ist vorhanden und man bekommt ein Aufschlag auf seinen Lohn, weil es sich um einen Gefahrenarbeitsplatz handelt.

O: Was genau ist ein Gefahrenarbeitsplatz?

G: Ich kann Ihnen keine genaue Definition sagen. Man bekommt Zuschläge seitens der Firma, wenn man an einem Arbeitsplatz arbeitet, an dem ein höheres Gefahrenrisiko ist, sei es durch Lärm, Vibration, Gefahrgut oder ähnliche Sachen.

O: Ich verstehe. Abschließend noch eine Frage, können Sie sich vorstellen, diesen Job noch länger zu machen?

G: Also kommt drauf an, was man unter lang versteht. Aber länger als weitere 5 Jahre möchte ich das nicht mehr machen, dafür ist es doch zu belastend.

O: Ich bedanke mich für Ihre Zeit. Sie konnten mir meine Fragen alle gut beantworten. Vielen Dank!

G: Kein Problem, schönen Tag noch.

O: Vielen Dank, dass Sie sich Zeit genommen haben. Wünsche ich Ihnen auch

Literaturverzeichnis

Bücher und Artikel

- ADAMI, Wilfried** (2008): *Montage braucht Erfahrung: Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage*, Weinheim, Deutschland: Beltz Verlag.
- AUST, Holger** (2021): *Das Zeitalter der Daten: Was Sie über Grundlagen, Algorithmen und Anwendungen wissen sollten*, 1. Aufl. 2021, Springer.
- BAKER, Bowen/Ingmar Kanitscheider/Todor Markov/Yi Wu/Glenn Powel/Bob McGrew/Igor MORDATCH** (n.d.): EMERGENT TOOL USE FROM MULTI-AGENT AUTOCURRICULA, in: *ICLR 2020*.
- BALLESTREM, Johannes Graf/Ulrike Bär/Tina Gausling/Sebastian Hack/Von Sabine Oelffen** (2020): *Künstliche Intelligenz: Rechtsgrundlagen und Strategien in der Praxis*, 1. Aufl. 2020, Springer Gabler.
- BARTENSCHLAGER, Jörg/Hans Hebel/Georg Schmidt** (2013): *Handhabungstechnik mit Robotertechnik: Funktion, Arbeitsweise, Programmierung*, Berlin, Deutschland: Springer Vieweg.
- BARTON, Thomas/Christian Müller** (2021): *Data Science anwenden: Einführung, Anwendungen und Projekte (Angewandte Wirtschaftsinformatik)*, Springer Vieweg.
- BERGER, Ulrich/Marlon Lehmann/Ronny Porsch** (2021): *Selbstlernende Assistenzsysteme für Industrieroboter*, in: *Industrie 4.0 Management: Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse*, 6. ed., pp. 23–26.
- BERNHAUSER, Jens** (2011): *Integration von 3D-„Time-of-Flight“-Kameras in Applikationen zur sicheren Steuerung autonomer Roboter*, Doktorarbeit, Department Elektrotechnik und Informatik der Universität Siegen.
- BISCHOFF, Manon** (2022): *Künstliche Intelligenz: Vom Schachspieler zur Superintelligenz?*, Springer.
- BRECHER, Christian/Manfred Weck** (2021b): *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 3: Mechatronische Systeme, Steuerungstechnik und Automatisierung (VDI-Buch, Band 3)*, 9. Aufl. 2021, Springer Vieweg. SEITENANZAHL
- CHOO, Kenny/Eliska Greplova/Mark Fischer/Titus Neupert** (2021): *Machine Learning kompakt: Ein Einstieg für Studierende der Naturwissenschaften (essentials)*, 1. Aufl. 2020, Springer Spektrum.

Literaturverzeichnis

- CORNELIUS, Andrea** (2019): *Künstliche Intelligenz: Entwicklungen, Erfolgsfaktoren und Einsatzmöglichkeiten* (Haufe TaschenGuide), 1. Auflage 2019, Haufe-Lexware.
- DANGEKNAIER, Wilhelm** (2013). *Methoden der Planung und Organisation*. Paderborn. Verfügbar unter: https://www.hni.uni-paderborn.de/fileadmin/Fachgruppen/Wirtschaftsinformatik/Moduluebersicht/W2334-01_Methoden_der_Planung_und_Organisation/MPO_Kapitel_5-Planung_betrieblicher_Strukturen.pdf Zugriff am: 16.09.2022
- DRATH, Karsten** (2019): *Die Kunst der Selbstführung: Was Führungskräfte über Resilienz wissen sollten* (Haufe TaschenGuide), 2. Auflage 2019, Haufe.
- EGE, Börteçin/Adrian Paschke** (2021): *Semantische Datenintelligenz im Einsatz*, Springer Vieweg.
- GOODFELLOW, Ian/Yoshua Bengio/Aaron Courville** (2018): *Deep Learning. Das umfassende Handbuch: Grundlagen, aktuelle Verfahren und Algorithmen, neue Forschungsansätze (mitp Professional)*, 2018. ed., mitp.
- GOßLAU, Dirk** (2020): *Fahrzeugmesstechnik: Grundlagen der Messtechnik und Statistik, Prüfstandstechnik, Messtechnik im Motoren- und Fahrzeugversuch (Atz/Mtz-Fachbuch)*, 1. Aufl. 2020, Springer Vieweg.
- GÖTZ, Robert** (2020): PTM, [Produktionstechnik Skript]
- HERING, Ekbert/Gert Schönfelder** (2018): *Sensoren in Wissenschaft und Technik: Funktionsweise und Einsatzgebiete*, 2. ed., Springer Vieweg.
- HOMPEL, Ten Michael/Thomas Bauernhansl/Birgit Vogel-Heuser** (2020): *Handbuch Industrie 4.0: Band 3: Logistik (Springer Reference Technik)*, 3. Aufl. 2020, Springer Vieweg.
- IHME, Joachim** (2006): *Logistik im Automobilbau: Logistikkomponenten und Logistiksysteme im Fahrzeugbau*, Carl Hanser Verlag.
- IPA, Fraunhofer Stuttgart/Johannes Bix** (2019): *Mobile Robotik in der bandsynchronen Montage zur flexiblen Mensch-Roboter-Interaktion.: Dissertationsschrift (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung)*, Fraunhofer Verlag.
- KERSTING, Kristian/Christoph Lampert/Constantin Rothkopf** (2019): *Wie Maschinen lernen: Künstliche Intelligenz verständlich erklärt*, 1. Aufl. 2019, Springer.
- KITZMANN, Arnold** (2022): *Künstliche Intelligenz: Wie verändert sich unsere Zukunft?*, 1. Aufl. 2022, Springer.
- KREUTZER, Ralf/Marie Sirrenberg** (2019): *Künstliche Intelligenz verstehen: Grundlagen – Use-Cases – unternehmenseigene KI-Journey*, 1. Aufl. 2019, Springer Gabler.

Literaturverzeichnis

MOCKENHAUPT, Andreas (2021): *Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Produktion: Grundlagen und Anwendung*, 1. Aufl. 2021, Springer Vieweg.

MÜLLER, Patrick (2020): Detektion von Konstruktionsfehlern durch eine automatisierte Objekterkennung mittels Deep Learning, in: Paul Christoph Gembarski/Roland Lachmayer (Hrsg.), *18. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2020*, Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.

PAAß, Gerhard/Dirk Hecker (2021): *Künstliche Intelligenz: Was steckt hinter der Technologie der Zukunft?*, 1. Aufl. 2020, Springer Vieweg.

SONNET, Daniel (2022): *Neuronale Netze kompakt: Vom Perceptron zum Deep Learning (IT kompakt)*, 1. Aufl. 2022, Springer Vieweg.

STEVEN, Marion (2018): *Industrie 4.0: Grundlagen - Teilbereiche - Perspektiven (Moderne Produktion)*, 1. ed., W. Kohlhammer GmbH.

WEBER, Wolfgang/Heiko Koch (2022): *Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung*, 5., aktualisierte und erweiterte, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

WERNER, Martin (2020): *Digitale Bildverarbeitung: Grundkurs mit neuronalen Netzen und MATLAB®-Praktikum*, 1. Aufl. 2021, Springer Vieweg.

Internetquellen

AUDI S3 Limousine: Preis, Motoren, Ausstattungen und Alternativen (n.d.): carwow.de, [online] <https://www.carwow.de/audi/s3-limousine> [abgerufen am 03.10.2022].

BAHR – visuelle Kommunikation (2016): Schrauben Drehmoment- / Drehwinkeldiagramm, YouTube, [online] <https://www.youtube.com/watch?v=RocEJ2qKQac> [abgerufen am 11.10.2022].

BERUFSBILDENDE SCHULE 2, Wolfsburg (2018): Grundlagen der Robotik: Koordinatensysteme und Verfahrensarten, [online] <https://www.xplore-dna.net/mod/page/view.php?id=449> [abgerufen am 06.09.2022].

BIN PICKING - Griff in die Kiste - Blumenbecker (o. D.): Internationaler Industriedienstleister, [online] <https://www.blumenbecker.com/de/industrie-automation/industrierobotik/bin-picking> [abgerufen am 17.10.2022].

BOHN, Kai Uwe (2021): Künstliche Intelligenz hilft Menschen bei der Montage, Universität Bremen, [online] <https://www.uni-bremen.de/universitaet/hochschulkommunikation-und->

Literaturverzeichnis

marketing/aktuelle-meldungen/detailansicht/kuenstliche-intelligenz-hilft-menschen-bei-der-montage [abgerufen am 16.09.2022].

BURNS, Ed/LASKOWSKI, Nicole (2021): Künstliche Intelligenz (KI), in: *ComputerWeekly.de*, 02.10.2021, [online] <https://www.computerweekly.com/de/definition/Kuenstliche-Intelligenz-KI> [abgerufen am 02.08.2022].

CNN EXPLAINER (o. D.): [online] <https://poloclub.github.io/cnn-explainer/> [abgerufen am 13.09.2022].

COCIANCIG, Christian (n.d.): Künstliche neuronale Netze - Aufbau & Funktionsweise - TheBlog – WEBFLOF HTML website template, [online] <https://www.jaai.de/post/kuenstliche-neuronale-netze-aufbau-funktion> [abgerufen am 17.06.2022].

CZERNIK, Agnieszka (2016): Was ist ein Algorithmus – Definition und Beispiele, Dr. Datenschutz, [online] <https://www.dr-datenschutz.de/was-ist-ein-algorithmus-definition-und-beispiele/> [abgerufen am 06.07.2022].

DIEZ-HOLZ, Lisa (2022): Europa führend beim Einsatz von Industrierobotern, ingenieur.de - Jobbörse Und Nachrichtenportal Für Ingenieure, [online] <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/automation/deutschland-fuehrend-einsatz-industrierobotern/> [abgerufen am 06.06.2022].

Freiheitsgrad – Physik-Schule (o. D.): [online] <https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Freiheitsgrad> [abgerufen am 18.09.2022].

GHARAT, Snehal (2021): Solution for deep learning without large dataset? DATA AUGMENTATION!!!, Medium, [online] <https://medium.com/@snaily16/is-deep-learning-useless-if-there-is-no-large-dataset-available-no-eac26f898968> [abgerufen am 10.10.2022].

GRÜNWALD, Robert (2020): Künstliches neuronales Netz einfach erklärt - NOVUSTAT, Statistik Service, [online] <https://novustat.com/statistik-blog/kuenstliches-neuronales-netz-einfach-erklaert.html#:~:text=Im%20Wesentlichen%20basieren%20neuronalen%20Netze,Informationen%20wieder%20zusammengefasst%20und%20ausgegeben> [abgerufen am 05.08.2022].

HÄGELE, Martin; Blümlein, Nikolaus; Kleine, Oliver, (2011). EFFIROB. Wirtschaftlichkeitsanalysen neuartiger Servicerobotikanwendungen und ihre Bedeutung für die Robotikentwicklung. Stuttgart, Fraunhofer IPA. Verfügbar unter: https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Kompetenzen/Roboter--undAssistenzsysteme/Studie_EFFIROB.pdf [abgerufen am 05.08.2022].

Literaturverzeichnis

INFORMATIK - für Schüler und Studenten (2019): Algorithmen Definition & Erklärung | Informatik

Lexikon, in: *Informatik - Für Schüler Und Studenten*, 23.12.2019, [online]

<https://www.informatik-verstehen.de/lexikon/algorithmen/> [abgerufen am 15.08.2022].

INTELLIGENZ (2022): in: *Duden Online*, [Wörterbucheintrag]

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Intelligenz> [abgerufen am 15.08.2022].

KR 1000 L750 titan - Knickarmroboter by KUKA AG | DirectIndustry (n.d.): [online]

<https://www.directindustry.de/prod/kuka-ag/product-17587-1272455.html> [abgerufen am 10.09.2022].

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IN DER SMART FACTORY: Anforderungen an die PC-Hardware/ (2019):

Heise Medien, [online] <https://business-services.heise.de/specials/moderne-it->

[infrastruktur/home/beitrag/kuenstliche-intelligenz-in-der-smart-factory-anforderungen-an-die-pc-hardware-](https://business-services.heise.de/specials/moderne-it-infrastruktur/home/beitrag/kuenstliche-intelligenz-in-der-smart-factory-anforderungen-an-die-pc-hardware-)

[3821?tx_hbs_pi1%5B%40widget_0%5D%5BcurrentPage%5D=2&cHash=a0916f0230fc795c1504b72460582944](https://business-services.heise.de/specials/moderne-it-infrastruktur/home/beitrag/kuenstliche-intelligenz-in-der-smart-factory-anforderungen-an-die-pc-hardware-3821?tx_hbs_pi1%5B%40widget_0%5D%5BcurrentPage%5D=2&cHash=a0916f0230fc795c1504b72460582944) [abgerufen am 06.10.2022].

LUBER, Stefan (2019): Was ist eine Smart Factory?, BigData-Insider, [online] [https://www.bigdata-](https://www.bigdata-insider.de/was-ist-eine-smart-factory-a-643838/)

[insider.de/was-ist-eine-smart-factory-a-643838/](https://www.bigdata-insider.de/was-ist-eine-smart-factory-a-643838/) [abgerufen am 06.07.2022].

MACHINE LEARNING (n.d.): in: *Studyflix*, [online] [https://studyflix.de/informatik/machine-learning-](https://studyflix.de/informatik/machine-learning-4356)

[4356](https://studyflix.de/informatik/machine-learning-4356) [abgerufen am 06.07.2022].

STADLER, Max-Ludwig (2022): Künstliche Intelligenz, Mindsquare, [online]

<https://mindsquare.de/knowhow/kuenstliche-intelligenz> [abgerufen am 06.07.2022].

MICROSOFT (2020): Microsoft erklärt: Was ist Machine Learning? Definition & Funktionen von ML,

News Center Microsoft Deutschland, [online] [https://news.microsoft.com/de-de/microsoft-](https://news.microsoft.com/de-de/microsoft-erklaert-was-ist-machine-learning-definition-funktionen-von-ml/)

[erklaert-was-ist-machine-learning-definition-funktionen-von-ml/](https://news.microsoft.com/de-de/microsoft-erklaert-was-ist-machine-learning-definition-funktionen-von-ml/) [abgerufen am 06.07.2022].

MODELLE, Aktionen, Angebote | Audi Deutschland (o. D.): Audi.de, [online]

<https://www.audi.de/de/brand/de.html> [abgerufen am 13.10.2022].

NEURONALE NETZE (n.d.): Studyflix, [online] <https://studyflix.de/informatik/neuronale-netze-4297>

[abgerufen am 06.10.2022].

RABE, L. (2022): Statistiken zum Thema Soziale Netzwerke, Statista, [online]

<https://de.statista.com/themen/1842/soziale-netzwerke/> [abgerufen am 28.06.2022].

RAVELING, Jann (2022): Was ist künstliche Intelligenz?, [online] [https://www.wfb-](https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/was-ist-kuenstliche-intelligenz-definition-ki)

[bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/was-ist-kuenstliche-intelligenz-definition-ki](https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/was-ist-kuenstliche-intelligenz-definition-ki) [abgerufen am 24.07.2022].

RICHTLINIE DES RATES vom 18. Dezember 1975 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der

Mitgliedstaaten über die Verankerungen der Sicherheitsgurte in Kraftfahrzeuge (1981): eur-

lex.europa.eu, [online] [https://eur-lex.europa.eu/legal-](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:01976L0115-19820420&from=EN)

content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:01976L0115-19820420&from=EN [abgerufen am

02.09.2022]

ROBOTNIK (2022): Mobile Manipulators Robots - Robot Manipulator | Robotnik, Robotnik, [online]

<https://robotnik.eu/products/mobile-manipulators/> [abgerufen am 11.10.2022].

ROBOTER: Die Neugier des Körpers (n.d.): [online] [https://www.mpg.de/9748551/roboter-](https://www.mpg.de/9748551/roboter-bewegung-lernen)

bewegung-lernen [abgerufen am 01.10.2022].

Roboter Koordinatensysteme – Learnchannel-TV.com (n.d.): [online] [https://learnchannel-](https://learnchannel-tv.com/de/robot/robot-coordinate-systems/)

tv.com/de/robot/robot-coordinate-systems/ [abgerufen am 19.07.2022].

SODER, Johann (2021): Shibboleth Authentication Request, in: *Digital-manufacturing-magazin*,

[online]

[https://login.pxz.iubh.de:8443/login?qurl=https://eds.p.ebscohost.com%2feds%2fpdfviewer](https://login.pxz.iubh.de:8443/login?qurl=https://eds.p.ebscohost.com%2feds%2fpdfviewer%2fpdfviewer%3fvid%3d11)

[%2fpdfviewer%3fvid%3d11](https://login.pxz.iubh.de:8443/login?qurl=https://eds.p.ebscohost.com%2feds%2fpdfviewer%2fpdfviewer%3fvid%3d11) [abgerufen am 07.07.2022].

STANDORT INGOLSTADT (n.d.): Audi MediaCenter, [online] [https://www.audi-](https://www.audi-mediacycenter.com/de/audi-ag-werk-ingolstadt-2862/standort-ingolstadt-2877#:~:text=Alle%2030%20Sekunden%20f%C3%A4hrt%20in,Q5*%20mit%20den%20jeweiligen%20Derivaten.)

mediacycenter.com/de/audi-ag-werk-ingolstadt-2862/standort-ingolstadt-

2877#:~:text=Alle%2030%20Sekunden%20f%C3%A4hrt%20in,Q5*%20mit%20den%20jew-

eiligen%20Derivaten. [abgerufen am 07.10.2022].

UNF Gewinde Tabelle (o. D.): anzugsmoment.de, [online]

<https://www.anzugsmoment.de/zollgewinde/unf-gewinde/> [abgerufen am 14.10.2022].

VDA (2022). Anzahl der produzierten Personenkraftwagen in Deutschland von 1990 bis 2021 (in

Millionen). Statista. Statista GmbH. [online]. [https://de-statista-](https://de-statista-com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/75210/umfrage/produktion-von-pkw-in-deutschland-seit-1990/)

com.thi.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/75210/umfrage/produktion-von-pkw-in-

deutschland-seit-1990/ [abgerufen am 05.08.2022].

WAS IST INDUSTRIE 4.0? (2019): [online] [https://www.plattform-](https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html)

i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html+ [abgerufen

am 06.08.2022].

WAS IST KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND WIE WIRD SIE GENUTZT? | Aktuelles | Europäisches

Parlament (2021): [online]

Literaturverzeichnis

<https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20200827STO85804/was-ist-kunstliche-intelligenz-und-wie-wird-sie-genutzt>+ [abgerufen am 06.08.2022].

WÜST, Klaus (2005): Robotik, <https://homepages.thm.de/~hg6458/Robotik/Einfuehrung.pdf>.

nstlichen%20Intelligenz%20und%20nutzt,schwer%20wertvolle%20Informationen%20zu%20extrahieren+ [abgerufen am 06.06.2022].

WUTTKE, Laurenz (2022a): Deep Learning: Definition, Beispiele & Frameworks, Datasolut GmbH, [online] <https://datasolut.com/was-ist-deep-learning/> [abgerufen am 06.09.2022].

WUTTKE, Laurenz (2022b): Künstliche Neuronale Netzwerke: Definition, Einführung, Arten und Funktion, Datasolut GmbH, [online] <https://datasolut.com/neuronale-netzwerke-einfuehrung/> [abgerufen am 06.09.2022].

WUTTKE, Laurenz (2022c): Reinforcement Learning: Wenn KI auf Belohnungen reagiert, Datasolut GmbH, [online] <https://datasolut.com/reinforcement-learning/> [abgerufen am 06.08.2022].

WUTTKE, Laurenz (2022d): Machine Learning: Definition, Algorithmen, Methoden und Beispiele, Datasolut GmbH, [online] <https://datasolut.com/was-ist-machine-learning/#:%7E:text=Machine%20Learning%20ist%20ein%20Teilbereich%20der%20k%C3%BC> [abgerufen am 05.08.2022].

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ingolstadt, _____

(Datum)

(Unterschrift)

Vorname Name