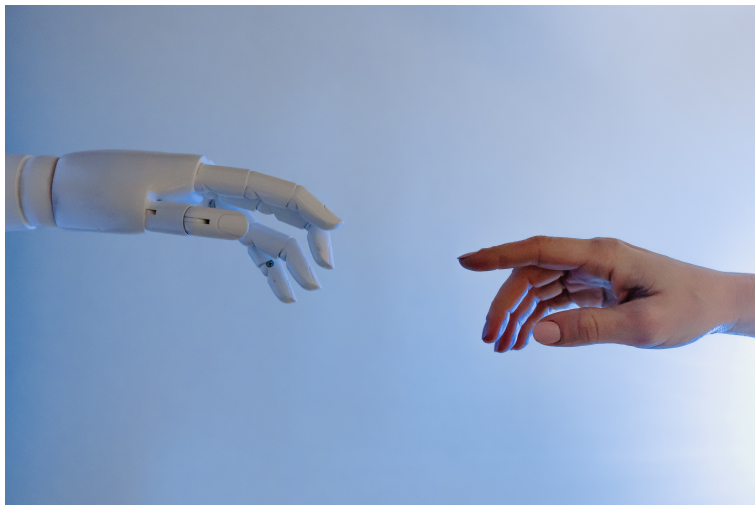


LEIBNIZ INSTITUT FÜR
PFLANZENBIOCHEMIE



Künstliche Intelligenz - Ein Blick in die Zukunft?



Auszubildender Fachinformatiker Systemintegration
Hendrik Maier

Inhaltsverzeichnis

1	Was ist eigentlich künstliche Intelligenz - Definition und Einleitung	2
2	Der Traum vom mechanischen Helferlein - Geschichte	4
2.1	Denkfähige Maschinen	5
2.2	Zukunftsprognosen	6
3	Schwache versus Starke - Arten von KI	7
3.1	Schwache KI	7
3.2	Starke KI	7
4	Technische Grundlagen	8
4.1	Wie betreibt man maschinelles Lernen?	8
4.1.1	Top-Down Methode (Deduktiv)	9
4.1.2	Bottom-Up (Induktiv)	10
4.1.3	Semi-Supervised Learning	11
5	Gedankenexperimente	12
5.1	The Imitation Game - Das Nachahmungs-Spiel	12
5.2	Das Chinesische Zimmer	13

Kapitel 1

Was ist eigentlich künstliche Intelligenz - Definition und Einleitung

In den letzten Jahren hat der Begriff der «Künstlichen Intelligenz» (KI) als Schlagwort ein erhebliches Gewicht erlangt. Verschiedene Medien berichten immer wieder von der KI als einer Art magischen Technologie, die unsere Art wie wir Leben komplett revolutionieren wird. KI soll schon in vielen Technologien integriert sein, die wir heute benutzen und soll es in wenigen Jahren noch mehr sein. Da stellen sich dem alltäglichen Menschen schon verschiedene Fragen wie: was ist KI, wie funktioniert sie und warum ist sie so faszinierend?

Bevor ich auf diese wichtigen Fragen eingehe, möchte ich vorerst den Begriff der «Künstlichen Intelligenz» erläutern, um Klarheit um diesen oft genutzten und doch unklaren Begriff zu schaffen. «Künstliche Intelligenz» ist ein Kunstbegriff der erstmals 1956 auf der *Dartmouth Conference*[3, p. 57] benutzt wurde. Der Begriff *Intelligenz* kommt vom lateinischen «intelligere» was soviel wie Einsehen, Begreifen und Erkennen bedeutet.[10] «Künstlich» verweist in diesem Zusammenhang auf die unnatürliche Herkunft dieser Intelligenz. Da Erkenntnis[7] und somit Intelligenz, immer etwas Geistiges ist, könnte man KI wie folgt definieren:

«Künstliche Intelligenz» beschreibt einen nicht-menschlichen/unnatürlichen Geist, der die Fähigkeit besitzt, durchs eigenständige Denken Erkenntnis zu erlangen.

Dies ist, wenn man sich an der Bedeutung der Wortes orientiert, eine Idealbeschreibung künstlicher Intelligenz. Da dies noch lange nicht erreicht ist,

könnte man eine realere Definition schaffen mit der der aktuelle Stand der Technologie besser abgebildet wird:

Eine «Künstliche Intelligenz» ist Computerprogramm das mit der Analyse von Statistiken Voraussagen treffen kann.

Obwohl bei Definitionen sich augenscheinlich stark unterscheiden, kann man die zweite Definition als Fundament für die erste Definition sehen. Um einen denkfähigen Geist zu erschaffen bedarf es Erfahrungen, die das menschliche Gehirn lehren Situationen vorrauszusehen.¹ Computer haben keine Sinne die sie mit der äußeren Welt verbinden und müssen daher erst mit Statistiken gefüttert werden um Voraussagen zu geben. Einem Computer die gleiche Fähigkeit wie man selbst zu geben, macht wahrscheinlich ein Großteil der Faszination beim Entwickeln einer KI aus. Um dies zu bewerkstelligen ist Forschung in den unterschiedlichsten Feldern nötig. Das Produkt dieser Forschung, welches in der ersten Definition beschrieben wird, wird wahrscheinlich Folgen auf die menschliche Zivilisation haben, wie die Erfindung des Feuers.

Mit diesem Fachbericht werde ich versuchen einen kleinen Überblick zu diesem scheinbar riesigen Thema zu geben. Ziel ist es die Idee und die Technologie von künstlicher Intelligenz so zu vermitteln, dass es für einen Laien greifbarer wird.

¹Evolutionär gesehen ist der menschliche Geist und die damit verbundenen Vorhersagen über die Realität das mächtigste Werkzeug im Kampf ums Überleben.

Kapitel 2

Der Traum vom mechanischen Helfer- lein - Geschichte

Wie auch bei vielen anderen neuzeitlichen Erfindungen, spielte Kultur in Form von Literatur eine entscheidende Rolle in der KI-Forschung. Erst durch die Vorstellungskraft von Autoren wie Isaac Asimov¹ oder Jules Verne², wurde Generationen von Forschenden inspiriert die Grenzen des Möglichen auszutesten. Die Idee der KI ist dabei schon so alt wie unsere Zivilisation. Schon der griechische Dichter Homer schrieb von mechanischen Dienern die den Göttern bei ihrem Mahl Wein nachschenkten.[3, p. 53] Auch wenn diese Verwendung eines Roboters aus unserer heutigen industriellen Sicht eher banal erscheint, war ein solcher Apparat zu damaligen Zeiten visionär. Nicht weniger visionär, war die Vorstellung des Philosophen und Naturforschers Gottfried Wilhelm Leibniz der mechanische Richter imaginierte, die aufgrund von logischen Regeln Rechtsfälle zwischen Parteien aushandeln.[3, p. 53] Vergleicht man diese Vorstellungen mit der heutigen Zeit, sieht man dass sich die Wünsche der Menschen durch die Zeit hindurch nicht groß verändert haben. Leibniz und Homer beschreiben beide dienende und logisch operierende Maschinen. Doch gestehen beide ihren erdachten Apparaten ein wesentliches Attribut nicht ein: die Denkfähigkeit.

¹bekannt durch: Die Foundation-Trilogie, der Zweihundertjährige Mann

²bekannt durch: Zwanzig Tausend Meilen unter dem Meer, Die Reise zum Mittelpunkt der Erde

2.1 Denkfähige Maschinen

Um dies zu wagen braucht es Mitte des 20. Jahrhunderts erst den britischen Mathematiker Alan Turing, der mit seinem Gedankenexperiment, dem «Nachnahms-Spiel», die Frage nach intelligenten und denkenden Maschinen stellte. Dieses auch als «Turing-Test» bekannte, Gedankenexperiment stellt seit dem einen Richtwert für den Fortschritt der KI-Forschung.³ Diese entstand zur gleichen Zeit als Ergebnis der Verbesserung der Halbleitertechnologie, die als Basis für moderne binäre Computersysteme gilt. Die dadurch vergrößerte Rechenkapazität und -leistung eröffnete bisher nicht realisierbare Forschungsmöglichkeiten. Seit dem finden KI-Forschende immer mehr Anwendungsmöglichkeiten um die Grenzen der KI immer weiter auszuweiten.

1997 erzeugt das Schreiben und Test von KI-Programmen, erstmals einen großen Medienecho, als der von IBM programmierte Schachcomputer «Deep Blue» den damals amtierenden Schach-Weltmeister Gary Kasparov, schlug.[1] Die Komplexität von Schach war mit purer brutaler Rechenleistung bisher noch nicht geknackt wurden. Dazu bedarf es erst einem «Verständnis» von Schach dass bis zu diesem Zeitpunkt nur Menschen zugänglich war. Das Programm probierte also nicht mehr nur alle Züge aus, sondern prognostizierte die Sinnvollsten. Damit wurde eine Zeitenwende eingeleitet und der breiten Öffentlichkeit die Macht von KI demonstriert. Das dadurch erschaffene Interesse beflügelte die KI-Forschung und weitete diese in mehr Anwendungsbereiche aus. In 2021 hatten ein Großteil der Menschen in ihrem Alltag schonmal Kontakt zu KI-Technologie. Ob bei der Suche im Internet oder bei Nutzung einer Sprachsteuerung, steht im Hintergrund immer diese Technologie. Die Vorstellung von einem mechanischen Helferlein weicht allmählich dem Bild der allwissenden künstlichen Intelligenz.

³Mehr dazu im Kapitel 5, Gedankenexperimente

2.2 Zukunftsprognosen

Eine der bekanntesten Hypothesen wurde 1993 vom US-Amerikanischen Mathematiker und Informatiker Vernor Vinge aufgestellt und 2003 erneut bestätigt. Vinge beschreibt ein spätestens 2030 auftretendes Ereignis, welches er die «technologische Singularität»[16, p. 1] nennt. Er nennt mehrere Szenarien welche direkt oder indirekt, ein Entstehen einer denkfähigen superintelligente Entität beschreiben, die auf Computertechnologie basiert.

Betrachtet man Vinges Prognose für die nahe Zukunft und Homers Beschreibung von Wein ausschenkenden Dienern, wird ein Entwicklungsprozess sichtbar, dem jeglicher Vergleich fehlt.

Kapitel 3

Schwache versus Starke - Arten von KI

Vinges Zukunftsprognose[16, p. 1] beschreibt eine Art KI von die, im Vergleich zu Leibniz und Homers Überlegungen, unterschiedlicher nicht sein könnte. Um zu konkretisieren was genau diese beiden Arten von KI unterscheidet, nehme ich mir Isaac Asimovs Roman «Der Zweihundertjährige Mann» zur Hilfe. Darin beschreibt Asimov einen Roboter der sowohl als mechanischer Diener, als auch als selbstdenkender kreativer Künstler agiert.[2] Unwissend macht Asimov somit eine Einteilung in zwei Arten von KI, die hilft den Entwicklungsfortschritt zu projizieren. Die Rede ist von der schwachen KI, dem logisch agierenden Diener, und starker KI, dem kreativen Künstler.

3.1 Schwache KI

WORK IN PROGRESS

3.2 Starke KI

WORK IN PROGRESS

Kapitel 4

Technische Grundlagen

Wie schon zuvor beschrieben ist eine KI nichts anderes als ein Computerprogramm, welches durch die Analyse von Statistiken oder Datenpunkten, Prognosen abgeben oder Muster erkennen kann. Diesen Prozess der Analyse nennt man maschinelles Lernen (ML). In diesem Prozess spielen das Feld der Erkenntnistheorie, Mathematik und Informatik maßgebende Rollen. Jede Disziplin erfüllt dabei eine eigene Aufgabe. Um eine Analyse durchzuführen benötigt es einen methodischen Ansatz. Die Erkenntnistheorie stellt hierfür die Methoden zur Verfügung.¹ Die Mathematik gibt die Möglichkeit diese Methoden in eine allgemeine anwendbare Sprache zu übersetzen. Die praktische Anwendung geschieht durch die Informatik in Form von Programmierung. Durch die Zusammenarbeit von diesen verschiedenen Disziplinen ist es möglich mithilfe von ML ein Modell (ML-Modell) zu generieren, welches zukünftige Problemstellungen mit anhand trainierter Daten lösen kann.

4.1 Wie betreibt man maschinelles Lernen?

Im Vorfeld des Lernens, ist es wichtig den Sinn der KI zu bestimmen. Je nach Anwendungsfeld oder Ziel der KI, kommt eine andere Methode und somit ein anderer Algorithmus zum Einsatz. Jede Methode bietet verschiedene Algorithmen an, die jeweils eigene Vorgehen verlangen. Unter den Algorithmen kann man dann den passenden auswählen, der die Zielvorgabe erfüllt.

¹Diese werden auch von Menschen bewusst oder unbewusst beim Lernen und Verstehen verwendet.

4.1.1 Top-Down Methode (Deduktiv)

Die erste Methode die beim ML angewandt wird, bezeichnet man als Top-Down Methode, welche deduktiver Natur ist. Dies bedeutet das man mithilfe von allgemein anerkannten Regeln auf spezielle Fälle schließt.[5] Beispielweise weiß ich dass die Sonne warm ist. Da draußen die Sonne scheint, schließe ich daraus das es draußen warm sein muss.² Im Kontext des ML bedeutet das dass immer vorgefertigte Regeln vorhanden sein müssen. Diese Regeln werden im Normalfall vom Menschen definiert. Daher spricht man bei dieser Methode auf vom beaufsichtigten Lernen bzw. dem Supervised Learning.

Supervised Learning

Mit dieser Art des Lernens ist es möglich zwei verschiedene Problemkategorien zu lösen:[12]

- Klassifikationsprobleme
- Regressionsprobleme

Diese können durch jeweils eigene Algorithmen bearbeitet werden. Als Klassifikationsprobleme bezeichnet man Situationen in den ein bestimmter Wert zu einer bestimmten Auswahl von Gruppen zugeordnet werden soll. Das bedeutet das die Zielvariable nur eine vordefinierte Anzahl von Werten annehmen kann.[14] Möchte man eine bestimmte Prognose aufgrund von vorherigen Werten erhalten, handelt es sich um Regressionsproblem.[14] Das Lösen beider Problemarten erfordert im Vorhinein das Kennzeichnen bzw. Labeln der Datenpunkte, zum Trainieren des Modells.³ Diese werden in Features und jeweils ein Target eingeteilt. Ein bestimmtes Target besitzt dann also eine bestimmte Anzahl an Features, durch welches es charakterisiert wird. Bei der

²Das bedeutet aber nicht das Deduktion der sicherste Weg des Schlussfolgern ist. Draußen kann die Sonne scheinen und es kann kalt sein weil Winter ist.

³Was in der Regel durch den Menschen geschieht.

Analyse der Zusammengehörigkeit von Features eines Targets, wird nun ein Modell generiert, mit dem eine Prognose gemacht oder die Zugehörigkeit zu einer Gruppe bestimmt, werden kann. Vorteil dieser Art des Lernens ist, ein hoher Einfluss auf das Ergebnis des Lernprozesses, da man die Möglichkeit hat eigene Features und Targets zu spezifisch zu definieren. Nachteil des Supervised Learning ist die im Vergleich lange Trainingszeit eines Modell. Diese erhöht sich je nach Menge der Datenpunkte eines Trainingsets.

4.1.2 Bottom-Up (Induktiv)

Die zweite Methode die beim ML angewandt wird, betrachtet Daten ohne davor irgendeine Form von Regeln zu beachten. Die Daten werden unvoreingenommen und ohne jede Grundlage betrachtet. Aufgrund von logischen Zusammenhängen werden dann Regeln abgeleitet womit sich die Daten erklären lassen können. Diese Methoden wird, bildgebend, als Bottom-Up oder auch als induktiv[5] bezeichnet. Beispielweise beobachte ich das jeden morgen die Tram zu gleichen Uhrzeit kommt. Daraus schließe ich dass sie nach einem Fahrplan verkehrt. Da diese Methode keine Grundlagen benötigt, spricht man im Kontext des ML vom unbeaufsichtigtem Lernen bzw. vom Unsupervised Learning.

Unsupervised Learning

Beim Unsupervised Learning gibt es drei Lösungsansätze:[15]

- Clustering
- Assoziation
- Dimensionsreduzierung

Wie auch beim Supervised Learning gibt es auch zu diesen Ansätzen, verschiedene Algorithmen die jeweils eigene Lösungswege verfolgen. Der haupt-

sächliche Unterschied der zum Supervised Learning besteht, ist das Eingreifen des Menschen bei der Vorbereitung der Datenpunkte. Unsupervised Learning Algorithmen benötigen keinerlei Anhaltspunkte sondern betrachten unvoreingenommen nur die rohen Daten. Beim Clustering, was soviel wie «Zusammenhäufen» bedeutet, wird dies mit am besten repräsentiert. Dabei werden nur auf Grund von Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Datenpunkte, Gruppen gebildet.[4] Dies ist nützlich wenn man große Mengen von Daten hat, über die man Einsicht gewinnen möchte. Möchte man hingegen die Zusammenhänge von Daten verstehen, bieten sich Assoziations-Algorithmen an.[8] Ein typisches Anwendungsgebiet von Assoziations-Algorithmen ist die Analyse des Kaufverhaltens eines Kunden. Dabei repräsentiert ein gekaufter Artikel einen Datenpunkt. In vergangenen Einkäufen werden diese nun in ihrem Bezug zueinander analysiert und eine Wahrscheinlichkeit ausgerechnet, mit der sich das Kaufen oder Nicht-kaufen vorhersagen lassen kann. Die Dimensionsreduzierung kann ähnliche Ergebnisse ausgeben, in dem sie wichtige und unwichtigen Datenpunkten trennen kann. Diese Art des Unsupervised Learning wird hauptsächlich bei der Vorbearbeitung von Datensets eingesetzt, die im späteren Gebrauch beim Supervised Learning benutzt werden.[15] Unrelevante Features werden von den relevanten getrennt, wodurch die Berechnungszeit und die Übersicht verbessert wird.

4.1.3 Semi-Supervised Learning

Wie der Einsatz Dimensionsreduzierung zeigt, sind die Grenzen zwischen Supervised und Unsupervised Learning fließend. Ein konkreter Fall wo beide Seiten zusammenarbeiten, ist das Semi-Supervised Learning. Dabei wird ein kleiner Teil von gekennzeichneten Daten und ein größerer Teil von ungekennzeichneten Daten verwendet, um ein ML-Modell zu generieren.[17]

Kapitel 5

Gedankenexperimente

Um neue Forschungsgebiete zu erschließen, ohne dabei handfest Ansätze zu haben, bieten sich Gedankenexperimente als nützliche Hilfsmittel an. Mit deren Hilfe lassen sich unreale Situationen konstruieren, durch welche man logische Schlussfolgerungen ziehen kann. Im folgenden werden zwei Gedankenexperimente beschrieben, die trotz ihres zunehmenden Alters, in der KI-Forschung immer noch Relevanz besitzen. Beide zeichnen sich dadurch aus, dass sie dem Denkenden die Möglichkeit geben sich in die Rolle einer Maschine zu versetzen. Dadurch kann der Denkende die Kernfrage der KI-Forschung aus einer anderen bzw. aus einer eigenen Perspektive erleben.

5.1 The Imitation Game - Das Nachahmungs-Spiel

Mitte des 20. Jahrhunderts stellte der britische Mathematiker Alan Turing als einer der ersten die Frage ob es möglich sei dass Maschinen denken könnten. Dies gilt seit dem als hauptsächliche Kernfrage der KI-Forschung. Um diese Frage zu beantworten schlägt Turing das «Imitation Game» oder auch «Nachahmungs-Spiel», als Test für die Denkfähigkeit von Maschinen vor. Als Maschine schlägt er explizit einen digitalen oder elektronischen Computer vor und schließt biologische Möglichkeiten, wie einen aus einer Zelle gezüchteten Menschen komplett aus.[13, p. 435] Eine vollständige Abkapselung einer digitalen Maschine, als eigenständiges Gerät ist jedoch nicht möglich, das sie auf dem Fundament von menschlichen Prinzipien konstruiert worden ist. Maschinen müssen immer als menschengemacht gedacht werden. Mit diesem Hintergrundwissen schlägt er folgendes Spiel vor:

Für das Nachahmungs-Spiel werden insgesamt drei Spieler*innen benötigt. Ein Mann (A), eine Frau (B) und ein*e Fragesteller*in (C). Die Aufgabe des/der Fragesteller*in ist herauszufinden wer von beiden die Frau ist. Dabei sitzt er/sie in einem anderen Raum als die beiden. Der/Die Fragesteller*in kennt beide Parteien nur unter X und Y, womit er am Ende des Spiel jeweils A und B identifiziert. Ziel von A ist es den/die Fragesteller*in fehlzuleiten. B verfolgt das Ziel, den/die Fragesteller*in zur richtigen Antwort zu leiten. [13, p. 433]

In diesem Gedankenexperiment wird der Mann (A) nun durch eine Maschine ersetzt, die seine Aufgabe übernimmt und sich als Frau (B) ausgeben soll. Der Austausch von Informationen erfolgt dabei über Maschinenschrift, damit der/die Fragesteller*in keine Schlussfolgerungen über Stimme oder Schrift ziehen kann.[13, p. 433] Bei diesem Test geht es nicht darum akute Maschinen zu betrachten und ein entgeltigen Schluss zu ziehen. Es geht eher darum sich eine Maschine vorzustellen die diesen Test bestehen kann. Damit eine Maschine diesen Test besteht muss sie das Spiel mit einer 70%iger Genauigkeit gewinnen.[6, p. 1]

5.2 Das Chinesische Zimmer

Das Chinesische Zimmer ist ein Gedankenexperiment vom Philosophen John Searle welches versucht die Frage nach der erfolgreiche Entwicklung einer starken Künstlichen Intelligenz zu verneinen. Searles These ist, dass kein Computer jemals wie ein Menschen denken kann, obwohl sowohl der Computer als auch das Gehirn beides Systeme sind Symbole verarbeiten.[9] Dies begründet er mit folgendem Gedankenexperiment:

Stellt euch vor ich wäre in einem geschlossenen Raum mit einem großen Haufen chinesischer Texte. Ich kann weder Chinesisch

sprechen noch lesen oder schreiben. Ebenfalls könnte ich chinesische von keiner anderen, wie beispielweise russischer, japanischer Schrift unterscheiden. Chinesische Schriftzeichen haben keine erkennbare Bedeutung und sind nur Formen für mich.

Nun stellt euch vor ich würde einen zweiten Stapel erhalten. Dieser Stapel enthält weitere Chinesische Schriftzeichen sowie englische formale Regeln, die ich ohne Probleme verstehe. Diese formalen Regeln geben mir die Möglichkeit die chinesischen Schriftzeichen anhand ihrer Form zu identifizieren.

Nun kriege ich einen dritten Stapel mit weiteren chinesischen Schriftzeichen und englisch Anweisungen die mir sagen wie ich diese neuen chinesischen Zeichen mit den Vorherigen vergleiche um bestimmte chinesische Zeichen zurückzugeben.

Mit der Zeit werden die Leute außerhalb des Raumes immer besser mir Englische Anweisungen zu schreiben und ich werde immer besser diese auch zu verstehen, so dass meine Antworten ununterscheidbar von denen eines gebürtigen Chinesen werden. Doch verstehe ich, was ich an Chinesisch von mir gebe? [11, p. 1]

Searle versucht mit diesem Gedankenexperiment den Unterschied zwischen Syntaktik¹ und Semantik² greifbar zu machen. Ein Computer der keinerlei Verbindung in die Realität eines Menschen hat, kann zwar Regel lernen, die ihm die Welt der Menschen näher bringt, jedoch kann er niemals voll und ganz *verstehen* oder auch *begreifen*, wie ein Mensch denkt. Damit setzt Searle eine eher negative Prognose auf den Fortschritt, den die KI-Forschung machen wird oder besser gesagt, nicht machen wird.

¹Syntaktik (Syntax): Wie stellt man Zeichenketten zusammen, so dass sie Sinn ergeben?

²Semantik: Was genau ist die Bedeutung hinter einem Wort?

Quellenverzeichnis

- [1] *20 Jahre Kasparov gegen Deep Blue*. May 11, 2017. URL: <https://de.chessbase.com/post/20-jahre-kasparov-gegen-deep-blue>.
- [2] Isaac Asimov. *Der 200-Jahre-Mann*. München: Heyne, 2000. ISBN: 3453170032.
- [3] Bruce G Buchanan. “A (very) brief history of artificial intelligence”. In: *Ai Magazine* 26.4 (2005), pp. 53–60.
- [4] *Clustering in machine learning*. Feb. 25, 2021. URL: <https://www.elementai.com/news/2020/clustering-in-machine-learning>.
- [5] *Deduktion und Induktion*. Oct. 19, 2021. URL: https://home.uni-leipzig.de/methodenportal/deduktion_induktion/.
- [6] Graham Oppy David Dowe. *The Turing Test*. Sept. 14, 2021. URL: <https://plato.stanford.edu/entries/turing-test/>.
- [7] *Erkenntnis, die*. Oct. 6, 2021. URL: https://www.duden.de/rechtschreibung/Erkenntnis_Einsicht_Vernunft.
- [8] *Market Basket Analysis – The Apriori Algorithm*. Oct. 27, 2019. URL: <https://scienceofdata.org/2019/10/27/market-basket-analysis-the-apriori-algorithm/>.
- [9] Christian Nimtz. “Das Chinesische Zimmer”. In: *Klassische Argumentationen der Philosophie*. mentis, 2013, pp. 259–274.
- [10] Jean Piaget. *Psychologie der Intelligenz*. Klett-Cotta, 2000.
- [11] John Searle. “The Chinese Room”. In: (1999).
- [12] *Supervised Learning*. Oct. 18, 2021. URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/supervised-learning>.

- [13] A. M. Turing. *Computing Machinery and Intelligence*. 1950, pp. 433–460.
- [14] *Überwachtes Lernen (Supervised Learning)*. Oct. 18, 2021. URL: <https://www.ki-business.de/blog/supervised-learning>.
- [15] *Unsupervised Learning*. Oct. 18, 2021. URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/unsupervised-learning>.
- [16] Vernor Vinge. “Technological singularity”. In: *VISION-21 Symposium sponsored by NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute*. 1993.
- [17] *What Is Semi-Supervised Learning*. Apr. 9, 2021. URL: <https://machinelearningmastery.com/what-is-semi-supervised-learning/>.