



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

“Künstliche Intelligenz“ im schulischen Informatikunterricht

verfasst von / submitted by

Dominic Andert

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat)

Wien, 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 190 333 884

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium Unterrichtsfach Deutsch und
Unterrichtsfach Informatik und Informatikmanagement

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. i.R. Dr. Wilfried Grossmann

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angeführten Hilfsmittel verfasst habe. Jegliche aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind selbstverständlich auch als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde außerdem in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 25.02.2021

Dominic Andert

Danksagung

An dieser Stelle sei allen mir vertrauten Personen, ob Familie, Freunden, Kollegen oder Bekannten ein herzlichstes Danke ausgesprochen. Ein Danke für jedwede Form der Unterstützung, welche im Lauf der letzten Jahre direkt oder indirekt erfolgte und damit auch die Fertigstellung und den Erfolg dieser Arbeit als nahezu letzten Baustein meines Studiums mitbegründete.

Dank gilt zudem allen Lehrenden der Universität Wien, an deren Lehrveranstaltungen ich seit meiner Inskribierung beiwohnen durfte und somit ein umfangreiches Wissen in vielerlei Hinsicht erlangte.

Ganz besonderen Dank gebührt weiters Herrn Professor Wilfried Grossmann, der mir bei der Verfassung dieser Arbeit in jeder Stunde mit Rat und Tat zur Seite stand und wirklich keinerlei Wünsche offenließ.

Dubium sapientiae initium.

René Descartes

(Zweifel ist der Weisheit Anfang)

Gendergerechte Formulierung

Diese Arbeit wurde nach bestem Wissen und Gewissen gendergerecht formuliert.

Der Hauptaspekt der Bemühung bestand darin, jegliche Wörter stets in einer geschlechtsneutralen Form zu verwenden.¹

Fand dieses Bestreben keine Anwendung, so wurden beide Formen, sowohl die weibliche als auch die männliche genannt. Im Sinne einer neutralen Verwendung variiert das zuerst angesprochene Geschlecht möglichst regelmäßig. Sollten sich aus menschlichem Irrtum heraus dennoch nicht gegenderte Begriffe wiederfinden, so sind diese, mit der Bitte um Nachsicht, selbstverständlich ebenso geschlechtsneutral zu verstehen.

¹ Beispiel: Die „Lehrperson“ / die „Lehrkraft“.

Abstract

Diese Diplomarbeit widmet sich dem Fachbereich der künstlichen Intelligenz und untersucht, wie dieser im Rahmen des schulischen Informatikunterrichts an den österreichischen AHS am besten vermittelt werden könnte.

Zunächst wird hierfür ein Blick auf die Disziplin selbst geworfen und Aspekte der Definition, der historischen Entwicklung, der theoretischen Grundlagen aber auch der modernen Anwendungsbereiche behandelt.

Der anschließende Teil evaluiert den österreichischen Informatikunterricht an den AHS in Bezug auf die Veränderungen seit dessen Einführung. Themen sind neben den Inhalten der Lehrpläne zudem die Ausbildung von Lehrkräften und allgemeine bildungstheoretische Konzepte wie die Bildungsstandards.

Nachdem die gesetzlichen Rahmenbedingungen aufgeschlüsselt sind, richtet sich der Fokus auf Lehrbücher, Unterrichtsmaterialien und Webseiten, deren Inhalte für die Vermittlung des Bereichs der intelligenten Systeme dienlich sein können. Zum einen werden viele Angebote vorgestellt, aber auch bewertet.

Der letzte Teil präsentiert zwei mögliche Unterrichtsmodelle mit dem Schwerpunkt „Sprache“ und widmet sich neben konkreten Umsetzungsmöglichkeiten auch der fachlichen Kompetenzebene.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1. Motivation und Kontext	2
1.2. Die Forschungsfragen und der Aufbau der Arbeit.....	3
2. Die Entwicklung der künstlichen Intelligenz	5
2.1. Vorwort	5
2.2. Die Herausforderung einer Definition	6
2.3. Die Geburtsstunde der künstlichen Intelligenz.....	9
2.4. Heuristische Systeme.....	12
2.5. Wissensbasierte Systeme.....	16
2.6. Maschinelles Lernen.....	21
2.7. Tiefes Lernen	25
2.8. State of the Art und praktische Anwendungsbeispiele	27
2.9. Zeitstrahl der wichtigsten Ereignisse	31
3. Der schulische Informatikunterricht.....	34
3.1. Die ersten Schritte des Informatikunterrichts in Österreich	34
3.2. Informatikunterricht als Allgemeinbildung?	36
3.3. Die Lehrpläne im Wandel der Zeit (1989-2017)	38
3.3.1. Informatik 5. Klasse	39
3.3.2. Informatik 6-8. Klasse	40
3.4. Die Bildungsstandards und der kompetenzorientierte Unterricht.....	42
3.5. Der aktuell gültige Lehrplan (ab 2017)	45
3.5.1. Informatik 5. Klasse	46
3.5.2. Informatik 6-8. Klasse	47
3.6. Die „Digitale Grundbildung“ – Eine österreichische Interim-Reform?	49
3.7. Die Aus-/ und Fortbildung von Lehrkräften	52
3.8. Zwischenfazit – die künstliche Intelligenz und der Lehrplan	54
4. „Künstliche Intelligenz“ im schulischen Informatikunterricht	58
4.1. Unterrichtsmaterialien über „künstliche Intelligenz“ in Schulbüchern	58
4.2. Weitere Unterrichtsstützen über „künstliche Intelligenz“	61
4.2.1. Edutube	62
4.2.2. Wissenschaftsjahr 2019 – künstliche Intelligenz: „Mensch, Maschine!“	62
4.2.3. Elements of AI	63
4.2.4. Machine Learning for Kids	64

4.2.5. AI Unplugged – Wir ziehen künstlicher Intelligenz den Stecker.....	65
4.2.6. Neuronale Netze programmieren mit Python	66
4.2.7. EDRLIS	67
4.2.8. Weitere nützliche Lehrwerke, Plattformen und Links	68
4.3. Bewertung der aktuellen Situation	69
5. Darstellung eines möglichen Unterrichtsthemas.....	71
5.1. Theoretische Einführung	71
5.2. Ein eigener Chatbot mittels RiveScript	75
5.3. Ein Textüberwachungsprogramm für soziale Netzwerke	80
6. Zusammenfassung der Ergebnisse	84
7. Quellenverzeichnis	85
7.1. Gedruckte Monographien, Sammelbände oder Berichte.....	85
7.2. Weitere Online-Links.....	92
8. Abbildungsverzeichnis.....	93

1. Einleitung

1.1. Motivation und Kontext

Der Erfolg jedes Individuums, folglich auch unserer Gesellschaft, begründet sich neben den von uns kaum beeinflussbaren Faktoren, jenen der Umwelt zum Beispiel, durch zahlreiche Aspekte, welche der Sozialphilosoph Pierre Bourdieu in seiner Kulturtheorie zu sammeln versucht hat (vgl. Bourdieu 1992). Das Maß an Bedeutung des von ihm betitelten inkorporierten Kapitals offenbart sich nicht nur durch die Folgen der Kritik an dem klassischen Bildungsbegriff durch beispielsweise Klafki und Horkheimer in den 1960er Jahren, sondern auch durch die zahlreich durchgeführten Bildungsreformen der letzten Jahre in Österreich (vgl. Klafki 2007, S. 56-69). Die Abhängigkeit des kulturellen und des ökonomischen Kapitals bestätigte wenig überraschend auch eine im Jahr 2012 publizierte Studie des österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung, welche die essentielle Rolle der Bildung für Wachstum, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit unterstrich (vgl. Bock-Schappelwein et al. 2012). Bildung ist somit seit jeher ein besonders wertvolles Gut, ohne dessen Auswirkungen vermutlich auch der technische Fortschritt der letzten Jahrzehnte nicht in diesem Ausmaß möglich gewesen wäre.

Als eine der hoffnungsvollsten Bereiche unserer Zeit kann die KI-Forschung verstanden werden, mit welcher man häufig überaus revolutionäre Visionen zu assoziieren pflegt (vgl. Mainzer 2019, S. 5). Zahlreiche Errungenschaften der letzten Jahre beruhen auf die Rechenleistung von Computern und intelligente Systeme halten immer mehr Einzug in unsere moderne Lebenswelt, sodass die entsprechende Affinität in diesem Bereich gefragter ist als je zuvor. Hierdurch rückt nicht zuletzt auch der schulische Informatikunterricht ins Visier und wird zunehmend Gegenstand von Diskussionen. Eine Abfrage des Begriffs „Artificial Intelligence“ beim Gemeinsamen Bibliotheksverbund² listet 3183 neue Publikationen aus dem Jahr 2020, die jenen Tag beinhalten. Wie aktuell dieses Thema ist, zeigt auch eine Suchabfrage des Begriffs „Künstliche Intelligenz“ über die Suchmaschine Google.com im World Wide Web. So werden als Ergebnis 216 deutschsprachige Berichte gelistet, welche in den letzten 24 Stunden veröffentlicht wurden und diese Begrifflichkeit beinhalten. Vermag man nun anzunehmen, dass sich diese Entwicklung des Trends auch in den Lehrplänen des Informatikunterrichts an den AHS widerspiegelt, so irrt man. Wirft man einen Blick in diese, so lässt sich feststellen, dass das Thema der künstlichen Intelligenz, seit der Einführung des Informatikunterrichts im Jahr 1989, beinahe unverändert blieb und die größte Änderung ein

² Vgl. <https://www.gbv.de/front-page> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Austausch des Begriffs der „künstlichen Intelligenz“ zu „intelligente Systeme“ im Jahr 2007 zu sein scheint.

1.2. Die Forschungsfragen und der Aufbau der Arbeit

Diesem soeben genannten Themenbereich möchte sich die nun folgende Arbeit näher widmen und jenen, trotz des Umfangreichtums, möglichst umfassend evaluieren und beleuchten.

Die Diplomarbeit untergliedert sich aufgrund der vielschichtigen Interferenzen in mehrere zu behandelnden Bereiche:

Der erste Teil widmet sich der Disziplin der künstlichen Intelligenz theoretisch und erkenntnisorientiert. Ziel ist es, einen aufgrund des tatsächlichen Umfangs sehr knappen, jedoch dennoch möglichst umfassenden Überblick dieses Themengebiet in adäquatem Ausmaß zu erschließen und darzulegen. Neben des Aspekts der Definition selbst, gilt es nicht nur der Historie mitsamt deren Bestrebungen und relevantesten theoretischen Grundlagen zu begegnen, sondern sollen der Vielschichtigkeit wegen im Anschluss auch einige konkrete Anwendungsbereiche präsentiert werden. Kaum wird es im Sinne einer angemessenen Darstellung möglich sein, sämtliche Forschungserkenntnisse und Grundsätze ausschließlich lapidar zu behandeln, doch ist dieser erste Teil dennoch hauptsächlich als Einblick in dieses Wissensgebiet zu verstehen. Da die Wissenschaft der künstlichen Intelligenz unzählige Theorien, Methoden und Anwendungssegmente tangiert, könnte diesen eine Diplomarbeit dem Umfang her, ohne mehreren weiteren Spezifikationen, in keinster Weise nur annähernd gerecht werden.

Der anschließende Teil widmet sich dem schulischen Informatikunterricht als solchen. Der Erfolg unseres Bildungssystems eröffnet allen heranwachsenden Schülerinnen und Schülern nicht nur den Weg in eine chancenreiche Zukunft, sondern begründet außerdem das Fundament eines in vielerlei Hinsicht erfolgreichen Staates. Die Gestaltung der jeweiligen Bildungszweige unterliegt daher wenig erstaunlich gesetzlichen Rahmenbedingungen, die es an dieser Stelle zu untersuchen gilt. Konkret sei der Blick auf das Konzept des Informatikunterrichts, aber auch auf die Lehrpläne und weitere rechtliche Bestimmungen geworfen, welche die zu vermittelnden Kompetenzen in umfassenden Ausmaß definieren und festlegen. Dieses Bestreben soll neben einer Übersicht des Status quo vor allem das Ziel verfolgen, die bereits bildungspolitische Auffassung zum Thema der künstlichen Intelligenz ins Licht zu rücken und zu bewerten.

Zweifelsohne ist die Institution Schule dennoch kein starres und ausschließlich zentral gesteuertes Gebilde, sodass es jedem Standort selbst obliegt, die Lehrpläne angemessen umzusetzen. Aus diesem Grund sollen auch mehrere zur Verfügung stehende Unterrichtsmaterialien mit dem auf die KI gerichteten Fokus begutachtet werden, um damit schließlich eine möglichst allumfassende Bewertung durchführen zu können.

Im Zuge dieser Kapitel sind daher die folgenden Forschungsfragen zu erschließen:

- In welche Bereiche kann das Kapitel der künstlichen Intelligenz in Hinblick auf eine sinnvolle Vermittlung im schulischen Unterricht unterteilt werden?
- Wie sind aktuelle Vorschläge, Vorgaben und einzelne Unterrichtskonzepte in diesem Bereich zu bewerten?
- Inwiefern bietet die Vermittlung dieses Themas auch interdisziplinäre Möglichkeiten an?

Abhängig von den jeweils resultierenden Forschungsergebnissen gilt es anschließend auch ein konkretes Unterrichtsbeispiel zu erarbeiten und vorzuschlagen, um jedwede bis dahin konzeptuell dargebrachten Vorschläge anwendungsbezogen zu veranschaulichen und die untenstehende Frage zu beantworten:

- Inwiefern können Unterrichtsvorbereitungen erstellt werden, welche die Lehre des Kapitels der künstlichen Intelligenz im schulischen Informatikunterricht unter Berücksichtigung von fachlichen, edukativen, aber auch institutionellen Herausforderungen möglichst optimal erfüllen?

Keineswegs wird es möglich sein, diese Frage ausschließlich mit einigen spezifischen Umsetzungsideen zu beantworten, sodass in jedem Fall ein abschließendes Resümee den letzten Teil der Arbeit darstellen wird.

2. Die Entwicklung der künstlichen Intelligenz

2.1. Vorwort

Zu Beginn wollen wir uns nun allerdings zunächst dem Begriff „der künstlichen Intelligenz“³ selbst widmen. Wie bereits eingangs erwähnt, handelt es sich bei jenem keineswegs mehr um einen fachsprachlichen Terminus, denn „die künstliche Intelligenz“ ist längst in der Gemeinsprache verankert und mittlerweile allgegenwärtig. Wirft man einen Blick auf die täglich zahlreich publizierten Artikel und Berichte, die man über unterschiedlichste Internetsuchmaschinen mit den Schlagworten künstliche Intelligenz zu finden vermag, so begegnen uns unter anderem Inhalte über verbesserten Chancen bei der frühzeitigen Erkennung von Krankheiten oder über Revolutionen im Finanzsektor und Wirtschaftssektor.⁴ Trotz dieser durchwegs positiven Meldungen begegnen der KI nicht alle Personen positiv. Eine im Juli 2019 durchgeführte repräsentative Onlinebefragung im Auftrag des deutschen TÜV-Verbands mit 1000 Teilnehmern und Teilnehmerinnen kommt zu den Ergebnissen, dass zwar beinahe die Hälfte der Befragten eine positive Einstellung gegenüber „der künstlichen Intelligenz“ besitzen (46%), gleichzeitig jedoch 28% negative Assoziationen, die vor allem mit Skepsis und Unsicherheit verbunden sind, vorweisen. Der erste Gedanken in Verbindung mit der künstlichen Intelligenz fällt zumeist auf Roboter, welche über menschliche Eigenschaften verfügen (vgl. Verband der TÜV e.V. 2020, S. 11-13). Nicht selten werden diese Ängste von Regisseuren und Regisseurinnen oder Autorinnen und Autoren aufgegriffen, um manch düstere Zukunftsvisionen zu behandeln, in welchen die Menschheit die Kontrolle gegenüber intelligenten Maschinen verliert (Wells, 2019). Sind diese Befürchtungen allerdings überhaupt realistisch und wie rasant schreiten die zur Verfügung stehenden Anwendungsmöglichkeiten einer künstlichen Intelligenz fort? Um diese Fragen zu klären, beschäftigen wir uns im Folgenden mit der Geschichte und der Entwicklung der künstlichen Intelligenz, zumal diese Aspekte für die Beantwortung der zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit besonders wesentlich sind.

³ Im Zuge der Erarbeitung des Fachbereichs wird sich zeigen, dass es keineswegs eine einzige Form der KI als solches gibt, der Autor bedient sich diesem Terminus der einfacheren Formulierung wegen jedoch dennoch regelmäßig.

⁴ Diese präsentierten sich am 20.08.2020, finden sich in gleichen Kontexten aktuell allerdings sehr häufig.

2.2. Die Herausforderung einer Definition

Einem theoretischen, derart umfangreich gegliederten Themenkomplex wie der künstlichen Intelligenz eine genaue Geburtsstunde zuzuschreiben, ist keinesfalls einfach. Ausschlaggebend dürfte allerdings das Jahr 1956 gewesen sein, als der Mathematiker John McCarthy ein mehrwöchiges Projekt zur Untersuchung der sogenannten „Artificial Intelligence“ veranstaltete und damit erstmalig den Begriff der „künstlichen Intelligenz“ prägte (vgl. McCarthy 2006). Wenngleich die Bezeichnung der „Artificial Intelligence“ erst im Rahmen dieses Projekts offiziell schriftlich genannt und festgehalten wurde, widmete man sich im Zuge dessen bereits recht fortschrittlichen Schlüsselproblemen – von der Komplexität einer Implementierung angefangen, über Neuronen und sprachlichen Aspekten bis hin zu der Schaffung eines eigenständig kreativen Programms. Ungeachtet der Tatsache, dass man selbst auch heute noch mehrere im damaligen Paper genannten Herausforderungen erstmals zu erreichen versucht, ist der seinerzeit geprägte Leitgedanke zweifelsohne wesentlich älter. Wie weit man hier nun in die Geschichte zurück zu schreiten vermag, obliegt zum einen der Definition und zum anderen der individuellen Abgrenzung.

Bevor wir uns nun allerdings konkret einigen gängigen Möglichkeiten einer Definition widmen wollen – auch um dann auf die angesprochene Kritik der zeitlichen Einordnung der Geburtsstunde im Jahr 1956 eingehen zu können – ziehen wir für das Verständnis der bestehenden Grundproblematik das digitale Wörterbuch der deutschen Sprache heran, um über die Bedeutungen der beiden Wörter „künstlich“ und „Intelligenz“ reflektieren zu können. An dieser Stelle ist selbstverständlich zu erwähnen, dass bereits die Übersetzung des englischsprachigen Begriffs „artificial intelligence“ in das Deutsche mit einer Transformation der ursprünglichen Wortbedeutung einhergeht, dieser semantischen Nebenproblematik werden wir uns jedoch aus Gründen des angestrebten Vorhabens, nun lediglich einen allgemeinen Überblick darzubieten zu wollen, nicht genauer annehmen.

Das digitale Wörterbuch der deutschen Sprache definiert die beiden Begrifflichkeiten somit nun wie folgt:

- künstlich:
 - nicht natürlich
 - nicht von der Natur hervorgebracht, sondern vom Menschen der Natur nachgeschaffen
 - nicht auf natürliche Weise vor sich gehend

- gekünstelt, gewollt, gezwungen
 - einem natürlichen Verlauf, Zustand absichtlich, bewusst entgegenwirkend
- [veraltet] künstlerisch, kunstvoll
- Intelligenz:
 - Geistige Fähigkeit, Klugheit
 - Gesamtheit der Intellektuellen
 - [veralternd] intellektuell Gebildeter⁵

Die Komplexität hinsichtlich einer eindeutigen Definition beschränkt sich nun nicht nur auf grundlegenden Problematiken in Bezug auf den Begriff der Intelligenz, sondern erweitert sich außerdem durch die Verknüpfung der beiden Wörter „künstlich“ und „Intelligenz“.

Zum einen ist bereits die Intelligenz keineswegs anhand von allgemeingültigen und objektiven Faktoren mess- oder definierbar. Klar fällt in Hinblick auf unser Vorhaben, nämlich die Auswahl der sinngemäß passendsten Begrifflichkeit, die Entscheidung auf den in obiger Liste ersten angeführten Punkt, und zwar „geistige Fähigkeit, Klugheit“. Doch auch und vor allem an dieser Stelle tritt nun die erste Art eines Paradoxons auf, da die laut dieser Definition durchgeführte Verknüpfung der geistigen Fähigkeit mit der Eigenschaft der „Klugheit“ keine allgemeingültige, „naturwissenschaftliche“ Festlegung der Intelligenz ermöglicht. Würde man diese auf einem Zahlenstrahl abzubilden versuchen, so könnte man durch die Verwendung einer Negation zwar grundsätzlich auch Ergebnisse darstellen, die der „Intelligenz“ konträr sind – dies würde sodann der künstlichen Dummheit entsprechen, wie Marshal Wallace diese bezeichnete (vgl. Wallace 1987, S. 14) – es zeigt sich hingegen, dass sich der Begriff der Intelligenz im Generellen keineswegs als optimale Maßeinheit eignet. Hinzu kommt die bereits angesprochene Subjektivität der Beurteilung einer Messung selbst. Genauso wie es schlichtweg unmöglich ist, die Schönheit einer Person zum Beispiel objektiv und allgemeingültig zu messen oder festzulegen, so kann auch im Bereich des Wissens allenfalls ein auf Basis der Spezies des Menschen berechneter Durchschnittswert als Mittelwert dienlich sein, wobei es auch hier berechnete Kritiken an Messverfahren wie beispielsweise dem bekannten IQ-Test gibt. Auch diese Diskussion könnte sehr umfangreich intensiviert werden, worauf nun allerdings verzichtet werden soll. Als eine mögliche, jedoch ebenso bereits zahlreich kritisierte Quelle sei Howard Gardner genannt (vgl. Gardner 1994), welcher ein mehrdimensionales Modell der Intelligenz vorschlägt, welches unter anderem eine „sprachlich-

⁵ <https://www.dwds.de/wb/> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

linguistische Intelligenz“, eine „bildlich-räumliche Intelligenz“ oder eine „naturalistische Intelligenz“ berücksichtigt und differenziert (vgl. Visser 2006, S. 487-502).

Die Verknüpfung der Intelligenz mit dem Begriff „künstlich“ stellt nun, wie erwähnt, die nächste Herausforderung dar. Verstehen wir das Adjektiv mit der Bedeutung „nicht natürlich“, so stehen wir in gewissermaßen bereits umfangreich in Konflikt mit der Intelligenz, da jene selbst auf menschlichen Indikatoren beruht. Vermag man sich dieser Herleitung des semantischen Ausdrucks anzunehmen, so ist die künstliche Intelligenz stets an die möglichen Leistungen des menschlichen Gehirns gekoppelt und müsste daher auch zunächst erst diesem entsprechen, um überhaupt dem Terminus der Intelligenz gerecht werden zu können.

Eine wiederum völlig andere Betrachtungsmöglichkeit ist es, dem Wort der Intelligenz durch das hinzukommende und stets verknüpfte Adjektiv „künstlich“ eine völlig neue Bedeutungsebene zuzuordnen, sodass der Ausdruck „künstliche Intelligenz“ einem Neologismus entsprechen könnte.

Trotz dieser semantisch konfliktbehafteten Komplexität bestehen selbstverständlich dennoch vielzählig unternommene Definitionsversuche, welchen wir uns nun ein wenig näher widmen wollen. Eine der vermutlich bis zum Ende des letzten Jahrtausends am häufigsten verwendeten Beschreibungen der künstlichen Intelligenz lautet wie folgt:

Künstliche Intelligenz ist die Kunst Maschinen zu schaffen, die Aufgaben lösen, zu denen Intelligenz notwendig ist, wenn sie von Menschen ausgeführt werden (Kurzweil 1993, S. 14).

Wohl kaum eine Definition wird sich dem Begriff der Intelligenz entledigen können, sodass die obig beschriebene Grundproblematik im Grunde stets bestehen bleibt.

Eine vergleichsweise im Jahr 2018 veröffentlichte Definition des aktuell drittgrößten börsennotierten Softwareunternehmens „SAP“ übernimmt nun zum Teil den Grundgedanken der soeben angeführten Definition, erweitert diesen jedoch mit konkreten Beispielen und Forschungsbereichen (vgl. Reiff 2020):

Künstliche Intelligenz ist der Überbegriff für Anwendungen, bei denen Maschinen menschenähnliche Intelligenzleistungen erbringen. Darunter fallen das maschinelle Lernen oder Machine Learning, das Verarbeiten natürlicher Sprache (NLP – Natural Language Processing) und Deep Learning. Die Grundidee besteht darin, durch Maschinen eine Annäherung an wichtige Funktionen des menschlichen Gehirns zu schaffen – Lernen, Urteilen und Problemlösen (Schick 2018).

Ohne nun bereits auf die Beispielnennungen der zweiten Definition näher einzugehen, liegt die Messlatte bei der Bewertung eines intelligenten Systems augenscheinlich weitaus höher. John McCarthy beispielsweise begnügte sich 1956 mit deutlich einfacheren Herausforderungen, wenngleich diese, vor allem in Anbetracht der Möglichkeiten der damaligen Zeit, als keineswegs

simpel zu betrachten sind: “Often in discussing mechanized intelligence, we think of machines performing the most advanced human thought activities – proving theorems, writing music, or playing chess.” (vgl. McCarthy 1995, S. 5). Selbst ungeachtet aller bahnbrechenden Errungenschaften, welche in den letzten 30 Jahren stattgefunden haben, äußert sich Kurzweil schon im Jahr 1990 darüber, dass der Forschungsbereich bereits deutliche Fortschritte verzeichnet habe und wohl kaum mehr ein KI-Wissenschaftlicher mit einem Schachcomputer begeistert werden könnte, welchen es ohnehin bereits längst in jedem Kaufhaus zu kaufen gäbe (vgl. Kurzweil 1993, S. 14). Vielleicht begründet sich das Fehlen einer allgemeingültigen Definition auch genau in dieser Problematik. Womöglich mangelt es nicht nur daran, den Begriff der Intelligenz objektiv und allgemeingültig definieren zu können, sondern sind es auch die Erwartungen und die Vorstellungen, die sich ebenso stetig zu wandeln scheinen und daher neue Begriffsbestimmungen erfordern. Dies fasst auch Kurzweil sehr präzise zusammen:

Denken scheint noch etwas anderes zu sein als das automatische Öffnen und Schließen von Schaltern. Deshalb halten wir ein neues, ausgereiftes Computerverfahren bloß für eine weitere nützliche Technik und nicht für ein Beispiel echter künstlicher Intelligenz. Wir wissen genau, wie das Verfahren funktioniert, deshalb scheint es sich nicht radikal von anderen Computerprogrammen zu unterscheiden (Kurzweil 1993, S. 15).

2.3. Die Geburtsstunde der künstlichen Intelligenz

Die oben erlangten Erkenntnisse führen uns schließlich zur Frage, wann denn nun die Geburtsstunde der künstlichen Intelligenz konkret zu datieren sei. Wenngleich der Begriff der künstlichen Intelligenz, wie zuvor erwähnt, erstmalig 1956 geprägt wurde, beschäftigt sich dieser Bereich ganz offensichtlich mit Problemen, welche bereits einige Jahre zuvor Gegenstand von Diskussionen waren, wie John McCarthy errahnen lässt. Beispiele für künstliche vom Menschen hergestellte „intelligente“ Wesen lassen sich in der Literatur zahlreiche finden. Hierfür kann unter anderem die von E.T.A. Hoffmann im Jahr 1819 veröffentlichte Erzählung „Der Sandmann“ oder auch die aus der griechischen Mythologie entstammende Gestalt Talos genannt werden, deren Abbildungen bereits mehrere Jahrhunderte vor Christus auf Silbermünzen und Vasen zu finden waren (vgl. Buslepp 1924, S. 22-37). Als das früheste Dokument, welches sich dezidiert mit der Frage nach der maschinellen Intelligenz in Zusammenhang mit einem modernen digitalen Computer beschäftigte, sei die von Alan Turing 1950 veröffentlichte Arbeit „Computing machinery and intelligence“ (Turing 1950) anzuführen (vgl. Luger 2001, S. 32). Andere Quellen berufen sich wiederum auf eine 1943 erschienene Publikation von McCulloch und Pitts, die ein Modell künstlicher Neuronen erschufen und somit als Vorreiter der konnektionistischen Lernmodelle zu bezeichnen sind (vgl. Mcculloch 1943).

Hinsichtlich der gestellten Frage nach den tatsächlichen Anfängen der künstlichen Intelligenz kann jedoch eine noch frühere Publikation genannt werden, die erneut zu Turing führt. Dieser verfasste schon 1936 seine berühmte Arbeit „On computable numbers“ (Turing 1936), in welcher er sich unter anderem mit Definitionen der Intelligenz und dem Entscheidungsproblem beschäftigte, sodass schon diese als der Startschuss seines Bestrebens angesehen werden kann (vgl. Leidlmair 1988, S. 9). Natürlich ließen sich unter diesem Aspekt auch zahlreiche andere einflussreiche Persönlichkeiten und Veröffentlichungen nennen, die für die Entwicklung der künstlichen Intelligenz ungeahnt wesentliche Beiträge geleistet haben. Um nun allerdings nicht in eine Art infiniten Regress zu gelangen und letztendlich gar über Aristoteles und dessen Syllogismen zu schreiben, zweifelsfrei ungeachtet deren Bedeutung, wollen wir mit der von Turing ausgehenden Entwicklung fortfahren. Dieser erlangte ebenso recht rasch die Erkenntnis, dass die dieser Thematik zugrundeliegenden Definitionen und Fragen kaum rational beantwortet werden können, sodass er schließlich einen klar festgelegten empirischen Test entwarf, um den Faktor der Intelligenz zu ermitteln. Das „Imitationsspiel“, wie Turing diesen nannte, besteht aus einem Befrager, der sich für den Zeitraum der Testung isoliert in einem abgeschlossenen Raum befindet und nun, unwissentlich über die genaue Identität der jeweiligen, mit einem Computer und einer weiteren realen Person schriftlich über ein elektronisches Medium kommuniziert. Die Aufgabe des abgesonderten Probanden ist es nun anhand von gezielten Fragestellungen herauszufinden, welcher seiner beiden Adressaten der Computer, und welche die reale Person ist. Durch die räumliche Trennung und des schriftlichen Kommunikationsmediums wird sichergestellt, dass Indikatoren wie die Stimme oder die optische Erscheinung keine entscheidungsbeeinflussenden Faktoren darstellen und sich der Befrager somit ausschließlich auf den Inhalt der ihm übermittelten Antworten konzentrieren kann. Bei seinen Fragestellungen ist die Testperson völlig uneingeschränkt, so also jene durchaus hinterhältig sein dürfen. Daher können nicht nur Fragen in Zusammenhang mit Gefühlen gestellt werden, sondern ist es beispielsweise ebenso legitim, Lösungen zu mathematischen Berechnungen anzufordern. Eine derartige Abfrage ist besonders „gefährlich“, denn die zu rasche Lösung einer überaus komplexen Rechenaufgabe birgt verständlicherweise die große Gefahr der Enttarnung des Computers und sollte seitens der KI daher tunlichst vermieden werden. Während es bezugnehmend auf diesen Test mehrere als positiv zu bezeichnende Merkmale gibt – genannt sei zum Beispiel die nun objektive Beurteilung der Intelligenz durch einen rein ergebnisorientierten Vergleich mit Aussagen eines Menschen, sodass damit auch höchst philosophische Fragestellungen gefiltert werden – so gibt es durchaus Kritik an Turings Test. Diese stellen zum einen das Spektrum der untersuchten Kompetenzen in Frage – denn manuelle Fertigkeiten oder Geschicklichkeiten finden keinerlei

Berücksichtigung – zum anderen aber auch die beabsichtigte Einschränkung des zur Verfügung stehenden Potentials der künstlichen Intelligenz. Prekär ist vor allem der zweite Gesichtspunkt, denn wenngleich der Versuch das Problem der Intelligenzdefinition zu lösen versucht, orientiert sich jener ausschließlich am menschlichen Idealbild und verschenkt daher unbegründet enormes Potential, sodass sich verständlicherweise die Sinnhaftigkeit für viele nicht erschließt. Weiters bezweifelt man die Herangehensweise der Programmierung einer künstlichen Intelligenz. Im Vergleich zu einem lebenden Organismus, welcher selbst mit völlig neuen und unbekannten Situationen in Bruchteilen von Sekunden einen oftmals adäquaten Umgang zu kennen scheint, sind die viele Computerprogramme starr und unflexibel. Durchaus haben auch Entwicklungen an der Erstellung von Programmen keineswegs Halt gemacht und so sind modulare Strukturen und anforderungsabhängig angepasste Programmabläufe heute größtenteils vollkommen üblich, doch gibt es trotz und vermutlich auch zum Teil begünstigt durch Turings Publikationen oftmals fortwährende Diskussionen, sodass bereits die theoretische Möglichkeit einer möglichen Gleichstellung der biologischen und der künstlichen Intelligenz in ferner Zukunft angezweifelt wird. Besonders faszinierend ist unter diesem Aspekt eine von Simon aufgestellte These, „dass ein Großteil der Originalität und Vielfalt des Verhaltens von Lebewesen auf die Reichhaltigkeit ihrer Umgebung zurückzuführen ist und nicht auf die Komplexität ihrer eigenen Programme.“ (Luger 2001, S. 35). Simon führt hier als Beispiel eine Ameise an, welche das Ziel verfolgt, an einen bestimmten Ort zu gelangen, die Strecke dorthin allerdings mit zahlreichen Hindernissen versehen ist. Das Verhaltenssystem der Ameise, so Simon, ist selbst besonders simpel, „die anscheinende Komplexität ihres Verhaltens ist [jedoch lediglich] [...] eine Reflexion der Komplexität der Umgebung.“ (Simon 1981). Zum einen lässt sich daraus nun schließen, dass derartige Systeme daher durchaus erklärbar sein können, zum anderen aber auch, dass die Interaktion mit der Umwelt ein besonders essentieller Faktor für die Entwicklung einer Intelligenz darstellen könnte (vgl. Luger 2001, S. 32-35).

In den folgenden Kapiteln wollen wir uns für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage nun mit der entwicklungsspezifischen Historie mitsamt den wichtigsten theoretischen Aspekten der künstlichen Intelligenz beschäftigen.

2.4. Heuristische Systeme

Wie bereits obig, nicht zuletzt durch John McCarthys Zitat erläutert, verknüpfte man die Vorstellung einer künstlichen Intelligenz in den Anfängen häufig zunächst damit, dass diese komplexe menschliche Aktivitäten wie das Beweisen von Theoremen oder das Spielen von Schach fehlerfrei durchführen kann. Dies hatte zur Folge, dass sich die frühe Forschung bis ungefähr zum Jahr 1970 hauptsächlich diesen Domänen widmete und jene daher als die ältesten Anwendungsbereiche definiert werden können. Vermag manch einer nun über die Dauer dieser Bestrebungen erstaunt sein, so dürfte doch die Komplexität der jeweiligen Disziplinen unterschätzt werden. Versucht man beispielsweise bei einer durchschnittlich langen Schachpartie mit rund 40 Zügen alle möglichen Konstellationen der Figuren eines Spiels niederzuschreiben, so wären hierfür in etwa 10^{120} verschiedene Kombinationen zu verschriftlichen. Zur Verdeutlichung dieser enorm großen Anzahl: Dies sind mehr Möglichkeiten als die Zahl der seit dem Urknall bis heute verstrichenen Nanosekunden hoch vier. Es ist uns somit selbst mit der heutigen Technologie vollkommen unmöglich, diesen gigantischen Zustandsraum vollständig darzustellen beziehungsweise diesen zu durchsuchen, sodass man sich bei derartigen Absichten sogenannter Heuristiken bedient.⁶ Die Besonderheit von Heuristiken ist nun die Eigenschaft, dass diese, je nach Qualität der Implementierung wohl angemerkt, Vermutungen anstellen und anhand von Erfahrungen und Intuitionen Zustandsräume intelligent beschneiden, sodass im besten Fall dadurch die optimale Lösung ermittelt werden kann. Bevor wir uns diesem Bereich etwas näher widmen wollen, sei ein zweiter Anwendungsbereich von Heuristiken genannt, der besonders in den letzten Jahren an Medienpräsenz hinzugewonnen hat. Während Spiele stets eine endliche Menge möglicher Lösungen besitzen, deren Schwierigkeit der Ermittlung sich lediglich auf der enormen Größe des Zustandsraums begründet, welcher daher unmöglich vollständig durchsucht werden kann, gibt es ebenso Situationen, in denen es schlicht und ergreifend noch kein eindeutiges Ergebnis geben kann. Zahlreiche Bereiche unseres Lebens erfordern von uns Entscheidungen in Situationen, in welchen uns für die sichere Auswahl eines möglichen Weges in einem Entscheidungsbaum noch unzureichend Informationen zur Verfügung stehen. Nicht nur in der medizinischen Branche muss häufig unter anderem aus einer bestehenden Handlungsnotwendigkeit heraus eine vage Diagnose getroffen werden, die später vielleicht gänzlich revidiert werden muss, auch vollkommen alltägliche Umstände können visuell zweideutige Interpretationen ermöglichen. Während die menschliche Wahrnehmung in der Regel erst mit den uns bekannten optischen Täuschungen zu kämpfen hat, ergeben sich solche, für mit Kameras ausgestattete intelligente Systeme zum Beispiel, bereits in

⁶ Abgeleitet von dem griechischen Wort „eurisco“, welches mit „ich entdecke“ übersetzt werden kann.

allen möglichen Situationen, wie dies ein tragischer Unfall mit tödlichen Folgen aus dem Jahr 2016 in den USA beweist. Im Zuge des Unglücks kollidierte ein autonom gesteuertes Kraftfahrzeug mit einem weißen Anhänger eines Lastwagens, da es diesen als Wolkenhimmel missinterpretierte. (vgl. Tesla Team 2016).

Der Komplexität und des Umfangs wegen werden wir uns, wie bereits erläutert, im Folgenden nicht sämtlichen theoretischen Grundlagen von Heuristiken im Detail widmen, es soll jedoch dennoch ein möglichst informativer Überblick über die Thematik geboten werden.

Spiele nahmen, wie erwähnt, besonders lange eine zentrale Rolle bei der Erforschung und Entwicklung von Heuristiken ein. Grund dafür ist schlicht und ergreifend die Abgeschlossenheit des Systems und der klar definierten Regeln, welche häufig für alle Zustände universal gelten – als Bezugsbeispiel sei nun das 8-Puzzle genannt. Eine der einfachsten Heuristiken ist die sogenannte „Hill-Climbing-Strategie“, welche sich dem Namen entsprechend am besten mit einem Bergsteiger veranschaulichen lässt, der den Gipfel eines Bergs erklimmen möchte, die Route zu diesem allerdings nicht ausreichend gut kennt. Mit dem Ziel nun, die bestiegenen Höhenmeter stets zu maximieren, evaluiert der Wanderer nach jedem Schritt seine sichtbare Umgebung und steigt weiter in die Höhe, ohne je einen Schritt zurück in Richtung Tal zu unternehmen. Ohne schließlich alle Stellen des Berges zu Gesicht bekommen zu haben, ist es am Ende durchaus möglich, dass er das Gipfelkreuz und somit auch das optimale Ziel erreicht hat. Gleichsam kann es jedoch vorkommen, dass dieser lediglich eine zufällige, eigentlich unbedeutende Erhöhung des Berges erreicht hat, die weit unter dem tatsächlichen Gipfel liegt und somit letztendlich nur ein lokales Maximum bestiegen wurde. Trotz dessen möglicher Effektivität, eignet sich diese Art der Heuristik nur wenig für das 8-Puzzle, denn häufig ist es bei diesem erforderlich, Spielsteine, die sich bereits an einer korrekten Position befinden, im Sinne der angestrebten Lösung des gesamten Puzzles temporär erneut zu verschieben. Dies würde die Hill-Climbing-Strategie nun jedoch keineswegs zulassen. Eine mögliche Optimierung ist die sogenannte „Bestensuche“, welche die jeweils optionalen sowie bereits beschrittenen Zustände in Listen speichert, sodass, im Falle einer Sackgasse zum Beispiel, auch ein Rückschritt möglich ist, um sich für heuristisch sodann bessere Wege entscheiden zu können. Außerdem bietet sich nun auch die Einführung einer Bewertungsfunktion an, die kontrolliert, wie viele der Spielsteine sich bereits an der korrekten Position befinden. Beim 8-Puzzle ließen sich mithilfe derartiger Analysefunktionen somit nun nicht nur die Anzahl der sich an der falschen Stelle befindlichen Steine ermitteln, sondern auch die Summe der Entfernungen derjenigen zur korrekten Position, sowie jene Fälle, in denen zwei unmittelbar nebeneinander liegende Spielsteine lediglich

miteinander vertauscht werden müssten – eine Konstellation, deren Auflösung mit einem vergleichsweise besonders hohen Aufwand verbunden ist.

Stellt man letztendlich nun alle stets möglichen Spielzugvarianten des Puzzles in einem Graphen dar, so lassen sich die jeweiligen Knoten, welche die Spielbrettbeschreibung darstellen, wunderbar heuristisch bewerten. Mit dieser Methodik ist es schließlich möglich, sowohl eine Breiten- als auch Tiefensuche des Zustandsraums durchzuführen, sodass dadurch stets diejenigen Knoten des Graphen angestrebt werden können, welche die beste heuristische Bewertung besitzen. Gleichzeitig ergeben sich nun die Möglichkeiten, bei falschen Entscheidungen beispielsweise, Korrekturen vorzunehmen, sodass mit einer möglichst optimalen Lösung gerechnet werden kann. Wichtig zu bedenken ist schlussendlich dennoch, dass es sich auch bei dieser Form von Suche um ein heuristisches Verfahren handelt, welches bei entsprechender Größe des Suchraums vielzählige Zustände unberücksichtigt lässt – die beste Lösung kann durch diese Art der Suche somit durchaus im Verborgenen bleiben. Heuristiken können selbstverständlich auch noch anhand zahlreicher erdenklich anderer Gesichtspunkte optimiert werden. Neben einer zweifelsfrei besonders relevanten Schleifenerkennung sei auch der sogenannte Konfidenzfaktor genannt. Dieser repräsentiert das Vertrauen in einen möglichen Entscheidungsast, sodass damit eine konkrete numerische Beschreibung der vermuteten Wahrscheinlichkeit des Erfolgs, beziehungsweise des Misserfolgs definiert werden kann. Auch hier bieten sich unterschiedlichste Strategien an: So könnte man im Zuge einer Tiefensuche sämtliche Konfidenzfaktoren eines abgeleiteten Knotens addieren, lediglich den höchsten möglichen Wert heranziehen, oder aber auch gewisse Wege, die eine festgelegte Grenze der Bewertung nicht erreichen, gänzlich in Hinblick auf eine weitere Untersuchung ausschließen.

Gleichermaßen sind Spiele, die für mehrere Personen ausgelegt sind, besonders interessant, da diese die Komplexität in jenem weiterhin völlig abgeschlossenen System um ein Vielfaches erhöhen. Während eine erschöpfende Suche bei einigen Varianten genauso problemlos möglich ist, also alle Optionen bis zum Sieg oder zur Niederlage exakt berechnen werden können, kann bei komplexeren Formen lediglich ein „Vorausschauen über n Züge“ durchgeführt werden, sodass sich erneut mit heuristischen Bewertungsfunktionen begnügt werden muss (vgl. Luger 2001, S. 147-197).

Die erste Arbeit in diesem Bereich ist im Jahr 1959 von Arthur Lee Samuel erschienen, dessen „Damespiel-Programm“ derart dynamisch konzipiert wurde, dass sich dessen Schwierigkeit an den Gegner oder die Gegnerin anpasste, indem es abhängig von Sieg oder Verlust die Gewichtung der heuristischen Bewertungen veränderte (vgl. Samuel 1959). Vor allem bei beziehungsreichen Mehrspielermodellen, wie zum Beispiel Schach, treten auch andere Herausforderungen wie der

sogenannte Horizontaleffekt auf: Während einzelne Züge einen kurzfristig besonders vielversprechenden Erfolg zu versprechen scheinen, sind es nicht selten jedoch auch eben jene, die aufgrund eines im nächsten Zug ermöglichten Gegenschlags die Gesamtgewinnchance entscheidend minimieren. Aus diesem Grund ist es daher essentiell, auch bei vielversprechenden Zugmöglichkeiten eine ausreichende Tiefensuche durchzuführen, wenngleich diese nun bedingte selektive Suche eine gleichzeitige Beschneidung anderer Wege bedeutet und erneut suboptimale Entscheidungen mit sich führen könnte. (vgl. Pearl 1984). Eine andere Variante der Bewertung wurde von Nils Nilsson vorgestellt, der, neben weiteren Faktoren, Zustandsräume recht markant mit Bewertungsfunktionen ausstattete, die Ergebnisse von plus oder minus unendlich lieferten, je nachdem ob in den jeweiligen Zügen von einem garantierten Sieg oder einem möglichen Verlust ausgegangen werden konnte. Entscheidend für die Auswahl einer spezifischen Heuristik sind in Hinblick auf die entsprechenden Vor- und Nachteile letztendlich vor allem auch stets die konkreten Umstände. Ein Roboter im Weltraum wird aller Voraussicht nach auch besonders kostenintensive und lange Wege präferieren, wenn die kürzeste Strecke mit erhöhten Gefahren verbunden ist – eine automatische Qualitätskontrolle in einer Massenproduktion wiederum wird die Gewichtung vermutlich vielmehr anhand zeitlicher Faktoren bemessen. Hierbei spielt nun auch die Informiertheit der Heuristik selbst eine entscheidende Rolle, denn je informierter diese ist, desto weniger Zustände müssen ausgewertet werden. Damit sinkt zwar die Anzahl der von der CPU zu durchsuchenden Zustände, gleichzeitig werden jedoch höhere CPU-Ressourcen für die Heuristik selbst benötigt. Gegenteilig müssen verständlicherweise mehr Zustände durchsucht werden, desto schlechter die Heuristik ist, sodass von den Extrema beider Varianten, aufgrund der damit verbundenen enorm hohen Kosten, abzuraten ist und in der Regel eine Mischform die optimale Lösung darstellt. Diese leistungsbedingte Beschränkung, welche häufig durch die Anzahl der Suchschritte realisiert wird, ist auch unter der Bezeichnung „beam-search“ bekannt. (vgl. Nilsson 1980).

2.5. Wissensbasierte Systeme

Als zweiten wichtigen Bereich der künstlichen Intelligenz, welcher die Forschungen, die sich ausschließlich auf heuristische Such- und Schlussfolgerungsverfahren fokussierten, ablöste, seien nun wissensbasierte Systeme genannt (vgl. Wahlster 2016). Die Forschungsbestrebungen der Wissensrepräsentation lassen sich in drei unterschiedliche Ansätze unterteilen:

- Schwache Problemlösungsmethoden
- Starke Problemlösungsmethoden / Wissensbasiertes Problemlösen
- Verteilte und embodied Repräsentationen

Die Ansätze der schwachen Problemlösungsmethoden und folglich aller darauf aufbauender Bereiche entstanden bereits recht früh in den 50er und 60er Jahren des vorherigen Jahrhunderts und wurden von Newell und Simon dahingehend geprägt, dass jene definierten, dass intelligentes Verhalten letztendlich das Ergebnis eines heuristischen Suchverfahrens sei (Newell et al. 1957). Im Zuge von Forschungsarbeiten wurden Probanden beim Lösen von Aufgaben oder beim Spielen von Schach beobachtet und dabei festgestellt, dass diese allesamt gewisse einheitliche Verhaltensmuster zeigen. Diese Beobachtungen beeinflussten in weiterer Folge die Entwicklung sogenannter Produktionssysteme, welche aus einer Menge von Produktionsregeln, einem getrennten Arbeitsspeicher und einem Erkennen-Handeln-Steuerungszyklus bestehen, und dadurch eine musterorientierte Steuerung eines Problemlösungsprozesses ermöglichen (vgl. Luger 2001, S. 197-202). Als Beispiel könnten, um erneut auf das 8-Puzzle Bezug zu nehmen, die vier Regeln definiert werden, die „das Verschieben des Leerfeldes“ in die jeweils beiden horizontalen und vertikalen Richtungen ermöglichen, sowie der Zielzustand. Durch eine gezielte Abfolge dieser fest definierten Produktionsregeln ist nun ebenso eine Abbildung aller möglichen Spielfeldvarianten realisierbar, sodass beispielsweise mit einer Einbindung von Konfidenzfaktoren und der Methode des Backtracking, also dem Zurückgehen bei Sackgassen, eine sehr gute Implementierung einer effizienten Zustandsraumsuche durchgeführt werden kann.

Aus diesen Ansätzen heraus entstand der gleichermaßen von Newell und Simon erstellte „General Problem Solver“, womit man den Versuch unternahm, die Grundlage eines universellen Programms zu schaffen, welches eine von der Wissensdomäne unabhängige Architektur für das Lösen von Problemen bereitstellt (vgl. Newell et al. 1963). Diese nun neu geschaffene Modularität der Regeln und die Trennung des Wissens von der allgemeinen Programmsteuerung ebnete letztlich den Weg für Expertensysteme, die trotz oftmaliger Gleichstellung mit den wissensbasierten Systemen im Grunde jedoch nur ein Teilbereich deren sind, wenngleich auch ein besonders großer (vgl. Kurbel 1992, S. 26). Dieses nun domänenungebundene Konzept, worunter das Prinzip des „General

Problem Solver“ zu zählen ist, wird als schwache Problemlösungsmethode verstanden und stieß sehr bald auf seine Grenzen. Grund dafür sind die starken Abhängigkeiten von Wissensstrukturen, mit welchen ein allgemein konzipiertes Modell recht unvorteilhaft umzugehen weiß. Experten und Expertinnen profitieren stets von umfangreichem Wissen, welches miteinander verknüpft in zahlreichen Beziehungen steht und vor allem aus diesen Gründen einen essentiellen Mehrwert bietet. Gleichsam zeigte sich, dass sich zwar implementierte Heuristiken durchaus als wertvoller Grundbaustein im Bereich der „schwachen Problemlösungsmethodik“ präsentierten, allerdings kaum brauchbar für die sodann unterschiedlichsten Wissensdomänen waren. Beispielsweise haben schon Collins und Quillian Labortests durchgeführt und 1969 eine festgelegte Hierarchie für die Speicherung und Verwaltung sämtlicher Informationen im menschlichen Gehirn ermittelt. Demnach bedarf zum Beispiel die Beantwortung der Frage, ob ein Strauß fliegen kann, weniger Zeit als auf die Frage, ob eine Amsel atmen kann. Grund dafür ist das der assoziationalistischen Theorie zugrundeliegende Modell, nach welchem wir die Eigenschaft, dass ein Strauß nicht fliegen kann, direkt mit Begriff des spezifischen Tieres verknüpfen, während wir die Information des Atmens von der Amsel über die Gattung der Vögel und schließlich zu dem Objekt des Tieres „zurückzudenken“ haben, bis wir die selbstverständliche Information abrufen können, dass eine Amsel atmen kann, da dies letztendlich alle Tiere vermögen (vgl. Luger 2001, S. 227).

Ein weiteres Beispiel soll die Komplexität der korrekten Darstellungen der Beziehungen unserer Welt in der formalen Logik verdeutlichen:

$$\begin{aligned} \forall X (eiskaffee(X) \rightarrow kalt(X)) . \\ \forall X (\neg kalt(X) \rightarrow \neg eiskaffee(X)) . \\ \forall X (suppe(X) \rightarrow heiß(X)) . \end{aligned}$$

Die Aussage des ersten in der Prädikatenlogik dargestellten Ausdrucks besagt, dass jeder Eiskaffee kalt ist. Durch eine logisch mögliche Transformierung dieses Ausdrucks ergibt sich sodann der zweite Satz, welcher definiert, dass etwas, das nicht kalt ist, somit auch kein Eiskaffee sein kann. Ebenso besagt der dritte Satz, dass alle Suppen heiß sind. Wenn wir nun annehmen würden, es gäbe keine kalten Suppen oder warmen Eiskaffees, so könnte man nun folgerichtig aus den prädikatenlogischen Ausdrücken schließen, dass die heißen Suppen ein Beleg dafür sind, dass alle Eiskaffees kalt sind. Wenngleich beide Aussagen zwar grundsätzlich korrekt sein können, zeigt sich die hier mögliche fatale falsche Implikation. Begründungen sollten daher eine besonders wichtige Anforderung von Expertensystemen darstellen, um derartige inkorrekte Schlussfolgerungen verhindern zu können. Waterman hat 1986 eine Reihe von allgemeinen Problemkategorien aufgestellt und so als die größten Anwendungsbereiche Interpretationen, Voraussagen, Diagnosen,

Entwürfe, Planungen, Überwachungen, Unterweisungen und Steuerungen hervorgehoben (vgl. Luger 2001, S. 280). Wenngleich das obig genannte Beispiel einer falschen Schlussfolgerung zugegebenermaßen wenig praxisbezogen war, so sollte die Bedeutung von korrekten und vor allem nachvollziehbaren Ergebnissen vor allem in Hinblick auf die genannten Praxisbereiche schnell deutlich werden. Zweifelsohne ist es für die Medikation und die weitere Behandlung eines Patienten ungemein bedeutsam, weshalb ein Programm dem Mediziner eine Diagnose für einen Patienten nennt, die er zunächst außer Acht ließ. Aus dieser Problematik entstanden die sogenannten „starken Problemlösungsmethoden“, die sich nun auf jeweils einzelne bestimmte Domänen spezialisieren und beispielsweise mittels Zwischenschritten Beurteilungen von Schlussfolgerungen ermöglichen. Anzumerken ist, dass der Aufbau eines Expertensystems, besonders eines sodann weitaus besseren starken Systems, ungemein kostenintensiv sein kann und hier zahlreiche Herausforderungen für die benötigten Wissensingenieure/-innen, die Experten/-innen und die Endnutzer bestehen. Auf die Folgen wird am Ende dieses Kapitels eingegangen. Aufgrund der Fülle an Domänen und den nun damit verbundenen unterschiedlichen Anforderungsprofilen ist eine Einteilung der folgenden drei Fälle sinnvoll, aus welchen sich zudem auch zahlreiche hybride Formen entwickelten:

- Regelbasiertes Schließen: Unterschieden wird vor allem zwischen sogenannten ziel- und datenorientierten Problemlösungsverfahren, die ähnlich wie Produktionssysteme mit „wenn-dann“-Parametern arbeiten.

Das zielorientierte Verfahren könnte beispielsweise ein technisches Problem aufnehmen und von diesem ausgehend die Ursache oder eine Diagnose bestimmen. Durch Inputs des Benutzers oder der Benutzerin und durch damit verbundene implementierte Schlussfolgerungen wird das „Problemziel“ in kleinere „Teilziele“ zerlegt, sodass die Ermittlung des Ergebnisses häufig durch eine zumeist angewandte Tiefensuche durch die Produktionsregeln erfolgt. Eine Ausgabe der angewandten Regeln ermöglicht schließlich auch eine besonders einfache Erklärung für den Anwender oder die Anwenderin.

Das datenorientierte Verfahren wendet in der Regel wiederum eine opportunistische Suche an und „erschließt“ aus den Inputs neues Wissen, mit welchem das Programm nach Möglichkeit sodann direkt weiterarbeitet.

Eine Steuerung der Anwendung ist in beiden Varianten stark durch eine gezielte Anordnung der Produktionsregeln möglich, durchaus jedoch auch mittels verschiedener heuristischer Methoden. Schwierigkeiten treten in diesem Modell vor allem dann auf, wenn ein Problem mit keinen der definierten Regeln korreliert.

- **Modellbasiertes Schließen:** Die ersten modellbasierten Schlussfolgerungssysteme wurden, und dies ist vor allem unter dem Gesichtspunkt dieser Arbeit recht interessant, im Zuge von Lehrzwecken von und mit Studierenden entworfen, die Sinne der Vermittlung und der Festigung von Wissen technische Konstrukte, wie einfache Geräte oder Schaltkreise regelbasiert modellierten. Aufgrund der Abgeschlossenheit eines Systems sind derartige Systeme wenig fehleranfällig, bieten allerdings dennoch gleichzeitig, je nach Konstrukt, sehr schnell ein hohes Maß an Komplexität. Aus diesen Gründen ist der Anwendungsbereich leider zumeist recht eingeschränkt und besonders bei umfangreichen Systemen ergeben sich nicht selten mögliche Zustände, die bei der Implementierung unbeabsichtigt unberücksichtigt geblieben sind (vgl. Luger 2001, S. 197-383).
- **Fallbasiertes Schließen:** Fallbasierte Schlussfolgerungsmodelle sind ein vergleichsweise mächtiges Konstrukt, da sich diese die Eigenschaft des Menschen zu eigen machen, Schlüsse aus bekannten Situationen zu ziehen und für die Zukunft zu speichern. Verwendet werden hierfür explizite Datenbanken mit hinterlegten Problemlösungen, um anhand deren ähnliche weitere Probleme bewältigen zu können. Rissland (vgl. Rissland 1983) und Ashley (vgl. Rissland et al. 1987) haben beispielsweise schon Mitte der 1980er Jahre derartige Schlussfolgerungssysteme als Unterstützung für diverse Rechtsprechungen entworfen, da unter anderem besonders diese Domäne von bereits in der Vergangenheit gefällten Entscheidungen profitiert. Herausfordernd sind beim fallbasierten Schließen vor allem die zumeist notwendigen Modifikationen, denn nur sehr selten können Lösungen vergangener Fälle ohne jegliche Anpassung auf eine neue Problematik angewandt werden – man mag hierfür zum Beispiel an die Arbeit mit Messdaten denken. Eine weitere Komplexität stellt in der Regel das für diesen Ansatz notwendige stete Sammeln enormer Datenmengen dar, sodass im Sinne einer effizienten Verwendung sodann zwischen relevanten und weniger bedeutsamen Informationen unterschieden werden muss, die gelöscht werden können.

Ein anderer großer Faktor im Bereich der logischen Schlussfolgerung ist das Schließen in unsicheren Situationen, wenn somit aus einer in Bezug auf die Korrektheit ungewissen Schlussregel Implikationen abzuleiten sind. Als Beispieldomäne soll hier erneut die Medizin angeführt werden, denn nicht immer begründen Symptome eine klar zuordenbare Ursache. Wir Menschen erschließen neue Umstände zumeist unter Bezugnahme unserer Erfahrungen, unseres Weltwissens und allgemeiner Annahmen. Betätigen wir beispielsweise einen Lichtschalter und es ereignet sich just in diesem Moment der Fall, dass nicht nur die Glühbirne ohne Strom bleibt, sondern sich gleichzeitig genauso alle anderen elektronischen Geräte des Raumes ausschalten, so vermuten wir

üblicherweise, auch im Zuge eines modellbasierten Systems zum Beispiel, eine aufgrund einer wahrscheinlich soeben defekt gewordenen Glühbirne oder Lampe durchgebrannte Sicherung im Zählerkasten. Die erläuterten Schlussfolgerungssysteme würden uns nun für gewöhnlich empfehlen, die Glühbirne und im Anschluss die Sicherung auszutauschen. Haben wir im Rahmen eines fallbasierten Schlussfolgerungssystems zudem die fatalen Folgen eines direkten oder indirekten Blitzschlags hinterlegt, so wäre, bei entsprechender Wetterlage, auch ein Defekt aller einzelnen Geräte eine mögliche Vorstellung. Dennoch, und diese sehr unwahrscheinliche Variante bliebe sicherlich lange Zeit unberücksichtigt, bestünde durchaus auch die Eventualität eines zufälligen Kabelbruchs aller Stromverbindungen direkt vor den jeweiligen. Die Folge wäre eine notwendige Revidierung aller fälschlich getroffenen Schlussfolgerungen, denn sowohl die Sicherung als auch die strombeziehenden Geräte wären ja sodann weiterhin in bestem Zustand. In der Realität bedarf es selten derart absurder Beispiele, um den sogenannten nichtmonotonen Fällen zu begegnen. Oftmals reichen beispielsweise bereits zwei sich widersprechende Aussagen aus, damit ein sicheres Schließen ins Wanken gebracht wird. Um mit derartigen Situationen umgehen zu können sind neben Konfidenzfaktoren, die nun erneut die Verlässlichkeit einer Schlussfolgerung definieren, sogenannte Truth Maintenance-Systeme erforderlich, die Rechtfertigungsnetze erstellen und im erforderlichen Fall ein abhängigkeitsgesteuertes Backtracking ermöglichen.

Als dritter Ansatz sei schließlich noch das agentenbasierte und verteilte Problemlösen erwähnt. Im Zuge eines Workshops der „DAI-Gemeinde“⁷ wurde 1980 die Bestrebung geäußert, künftige Aufwendungen weniger durch Parallelisierungen, sondern vielmehr durch das Aufteilen von Problemen zu lösen. Aufgrund der nun nicht mehr zentral benötigten Wissensbasis bildeten sich schließlich die sogenannten Multiagentensysteme. Obwohl es auch in diesem Kontext Streitigkeiten in Bezug auf eine genaue Definition gibt, handelt es sich bei diesen im Grunde genommen um mehrere autonom handelnde, kontextbezogene, soziale und flexible Agenten, die nun aufgrund der nicht mehr benötigten Administration eigenständig und mithilfe von Eingabedaten, die wiederum von anderen Agenten bereitgestellt werden, geeignet und proaktiv mit der Umgebung interagieren. Als mögliche Anwendungsbeispiele können die Fertigung, die Prozesssteuerung, das Informationsmanagement oder auch interaktive Spiele genannt werden, wenngleich sich der Ansatz im späteren Verlauf weniger im Bereich der wissensbasierten Systeme, sondern vor allem durch das Hinzukommen des maschinellen Lernens als eine ausgesprochen mächtige Disziplin erwies (vgl. Luger 2001, S. 197-383).

⁷ Steht für "distributed artificial intelligence"

Interessant sind auch die Ausführungen von Hartmann, der die Expertensysteme als ein nahezu abgeschlossenes Kapitel bezeichnet und damit sinngemäß der später von Wahlster getroffenen Zeiteingrenzung der wissensbasierten Systeme bis 1990 zustimmt (vgl. Hartmann 2010, Vorwort + S. 213-215):

In den vergangenen Dekaden habe ich immer wieder geradezu modehafte Erscheinungen bei den Forschungen zur KI bemerkt. Die Mode Expertensysteme, in der plötzlich jedes Programm, dass zwei Zahlen zusammenzählen konnte, als irgendwie gestaltetes wissensbasiertes System gedeutet wurde, wurde durch Multimedia, eLearning und Neuronale Netzen abgelöst. Immer wieder scheinen sich die Kräfte der Forscher irgendwann zu erschöpfen, weil sie sich schlussendlich über die Komplexität der eigentlichen Aufgabe bewusst werden und sich einer neuen Mode zuwenden (Hartmann 2010, S. 213).

2.6. Maschinelles Lernen

Die Epoche des maschinellen Lernens, welche auch in anderen Publikationen als besonders bedeutsamer Bereich definiert wird, stellt nach Wahlster (vgl. Wahlster 2016) die nun dritte Entwicklungsstufe der künstlichen Intelligenz dar (vgl. Copeland 2016). Ähnlich wie im Kapitel der wissensbasierten Systeme kann auch hier eine Kategorisierung in drei Bereiche vorgenommen werden, welche nun jeweils die Art und Weise beschreiben, mit der sich ein Programm der Lösung eines spezifischen Problems annähert:

- Überwachtes Lernen (Supervised Machine Learning)
- Unüberwachtes Lernen (Unsupervised Machine Learning)
- Be-/Verstärktes Lernen (Reinforcement Machine Learning) (vgl. Wittpahl 2019, S. 24)

Wie es nun bereits die Bezeichnung suggeriert, gibt es beim überwachten Lernen stets eine Überprüfung des Lernprozesses, sodass diese Methode mit einer Situation verglichen werden kann, in welcher eine Lehrkraft direkte Rückmeldungen an den Schüler oder die Schülerin geben kann. Im Bereich des maschinellen Lernens sind es nun konkret Daten, die bereits analysiert worden sind und aus welchen eine Hypothese zu bilden ist, um sodann neue, noch unbekannte Daten korrekt verarbeiten zu können. Unterschieden wird hierbei zwischen stetigen Daten, also jene einer Temperaturskala beispielsweise, und einem endlichen Wertebereich, wie die vier Jahreszeiten einen solchen definierten könnten. Je nach Fall wird das Lernproblem als Regression (stetige Daten) oder als Klassifizierung (endliche Wertemenge) verstanden. Als Beispiel einer Klassifizierung kann die Bewertung einer Jahresnote für einen Schüler oder eine Schülerin in einem Unterrichtsfach genannt werden: Um nun eine Schulnote anhand der im laufenden Schuljahr erbrachten Leistungen bilden zu können, sind in der Regel mehrere Attribute notwendig, die möglicherweise „Mitarbeit“, „Schularbeitsnoten“ und „Anwesenheit“ lauten könnten. Während dieses Anwendungsbeispiel eine

in der Realität wohl definierte und gesetzlich verankerte Menge an Attributen besitzt, kann die Auswahl solcher in einem anderen Bereich, einer Bonitätsprüfung beispielsweise, weitaus herausfordernder sein. Neben einer Evaluierung nach dem Konzept der Entropie sind daher auch Methoden wie statistische Signifikanztests essentiell, die die Auswirkungen einer möglichen Kürzung von Attributen messen.

Die Notwendigkeit der Kandidateneliminierung begründet sich im Prinzip des Ockham-Rasiermessers, welches am besten mit Ockhams Formulierung selbst erläutert werden kann: „Frustra fit per plura, quod potest fieri per pauciora.“ (Schildknecht 2005, S. 227). Praktisch wirkt sich die eine zu umfangreiche Attributmenge vor allem in der Hinsicht negativ auf die Hypothese aus, als dass sich diese dadurch immer stärker an die jeweilige Trainingsmenge angleicht und letztlich im Zuge des anschließenden Einsatzes mit differenten Werten, dadurch begründet, falsche Entscheidungen trifft – man bezeichnet dieses Phänomen als Überanpassung. Als sehr gutes und häufig zitiertes Beispiel kann ein möglicher Spam-Filter genannt werden, welcher im Zuge dieses Problems auch wichtige E-Mails als „Junk“ deklariert und dem Endnutzer aussortiert, da das Programm möglicherweise nur noch jene Absender zulässt, die bereits in der Testmenge enthalten waren.

Für die Bildung einer Hypothese wurden in den letzten Jahren unterschiedliche Algorithmen entwickelt. Als vergleichsweise simpel ist unter anderem der klassische Entscheidungsbaum anzuführen, der auch bei Klassifizierungsproblemen angewandt werden kann. Selbstverständlich haben sich bei dessen Erstellungen ebenso Optimierungen wie der ID3-Algorithmus bewährt, der eine effiziente Anordnung aller möglichen Kandidaten überprüft. Eine gänzlich andere Variante einer Hypothesenbildung, die sowohl im Bereich der Regression als auch für die Klassifikation eingesetzt werden kann, ist die Verwendung sogenannter linearer Modelle der Form $y = w_1x + w_0$. In diesem Fall stellen nun w_0 und w_1 die reellen Koeffizienten dar, die zu lernen sind. Hierbei, ebenso wie bei einer Form der linearen Klassifizierung mit logistischer Regression, optimiert man die Hypothese mittels einer ausgewerteten Fehlerfunktion und unterschiedlicher Ausprägungen des Gradientenabstiegs. Auf all jene Verfahren kann im Rahmen dieses Überblicks aus den dargelegten Gründen leider nicht im Detail eingegangen werden, sodass an dieser Stelle erneut um Nachsicht gebeten wird, auch weitere Methoden im Bereich des maschinellen Lernens zumeist nur begriffsspezifisch behandeln zu können. Als potentielle Lektüreempfehlung kann an dieser Stelle „Maschinelles Lernen“ von Ethem Alpaydin vorgeschlagen werden (vgl. Alpaydin 2019).

Dem überwachten Lernverfahren steht nun neben dem bestärkten Lernen das unüberwachte Modell gegenüber. Im Zuge dessen gilt es nun selbstständig Konzepte und Regelmäßigkeiten aus einer

Datenmenge zu bilden, um später darauf aufbauend Zuordnungen treffen zu können. Luger verglich diesen Aspekt mit Forschungen im Bereich der Naturwissenschaften. Auch hier liegen zumeist selten aufbereitete Daten vor und ein Expertenteam hat aus diesen, bei einem Blick in den Sternenhimmel zum Beispiel, Hypothesen über mögliche Galaxien und Sonnensysteme zu treffen. Ihren Schlussfolgerungen können sich diese hierbei, als lernende Instanz, nie völlig gewiss sein. Bleiben wir bei dem soeben genannten Fall des Sternenhimmels: Für die nun gewünschten und geforderten Klassifizierungen von Daten in Teilsysteme sind in der Regel sogenannte Clusteranalysen üblich. Bewährte Varianten solcher gibt es erneut vielzählige. Orientiert man sich an einer möglichen probabilistischen Methode, so sei der Erwartungs-Maximierungsschritt-Algorithmus genannt, der eine besonders effiziente Variante darstellt und dessen Funktionsweise nun im Sinne des Grundverständnisses ein wenig genauer beschrieben werden soll. Der EM-Algorithmus geht von einer Gauß'schen Normalverteilung der Daten aus und definiert eine Menge zufälliger Mittelpunkte der möglichen Cluster, in unserem Fall Galaxien. Bei der bildlichen Vorstellung eines Sternenhimmels scheinen uns zunächst nur eindimensionale Datenpunkte vorzuliegen, selbstverständlich haben je nach Anwendungsbereich jedoch auch mehrdimensionale Attributmengen eine entscheidende Relevanz. Das Grundprinzip des EM-Algorithmus ist es nun, unter Berücksichtigung einer möglichen Standardabweichung, die Erwartungen der einzelnen Lichtpunkte im Himmel zu berechnen, dass diese einer der zufällig angenommenen Cluster anzugehören. Je nach Ergebnis werden die Werte der Gauß'schen Verteilungen schließlich neu definiert und der Prozess iteriert (vgl. Russel et al. 2012, S. 941-952). Andere Modelle, wie der k-Means-Algorithmus, orientieren sich an Distanzberechnungen zu naheliegenden Punkten, um damit Cluster zu bilden, ähnlich wie dies auch beim überwachten Lernen möglich ist (vgl. Alpaydin 2019, S. 12-14; 166-177).

Neben den Fällen nun, in welchen aus Beispielen Lernmethoden, Funktionen, logische Theorien oder Wahrscheinlichkeitsmodelle gebildet werden können, gibt es auch Anwendungsfälle, als solches das gleich zu Beginn dieser Entwicklungsschilderung genannte Schachspiel gezählt werden kann, in welchen die oben geschilderten Methoden des Lernens keine Anwendung finden können. Zum einen nämlich wäre eine Instanz, die jeden möglichen Spielzug rational bewertet, überaus teuer, aber auch schwierig, da das Ziel im Grunde schlichtweg eine Folge von mehreren Zügen ist. Als die tatsächlich einzig vorhandene Bewertung des Spielprozesses stellt der Sieg oder die Niederlage am Ende dar – oder wie Russel dies markant erklärt: „Sie spielen ein neues Spiel, dessen Regeln Sie nicht kennen. Nach 100 Zügen sagt ihr Gegner: ‚Du hast verloren.‘ Das ist verstärktes Lernen im Kleinformaat“ (Russel et al. 2012, S. 960). Konkret bedient man sich bei derartigen

Problemfällen in der Regel der Theorie sogenannter Markov-Entscheidungsprozesse, somit nun Agenten, welche in deren Umwelt Aktionen in deren jeweiligen Status durchzuführen haben, um Belohnungen zu erhalten. Selbstverständlich können diese Belohnungen auch negative Ausprägungen besitzen und daher Bestrafungen an den Agenten übermitteln. Da die Evaluierung der stets vollzogenen Sequenz von Aktionen erst am Ende der Durchführung erfolgen kann, vergleicht Alpaydin diesen Prozess, ähnlich wie Russel, mit einem sich nicht erklärenden Kritiker. Sämtliche mögliche oder notwendige Optimierungen sind somit stets selbst zu ermitteln (vgl. Alpaydin 2019, S. 535-560). Um dies tatsächlich bewerkstelligen zu können, werden nun auch die jeweiligen Zustände selbst mit internen Bewertungen ausgestattet, damit der Agent die Möglichkeit besitzt, die stets verfügbaren Folgezustände miteinander zu vergleichen. Eine konkrete Variante ist beispielsweise das sogenannte Q-Lernen, welches mithilfe eines Diskontierungsfaktors die Wahrscheinlichkeit des Erreichens des angestrebten Ziels inkludiert und somit durch eine anschließende Propagation der Bewertungen einen zunehmend evaluierten Zustandsraum erreicht. Ein grundlegend wichtiger zu nennender Begriff ist weiters die Exploration des Raumes. Mangelt es an dieser, so zeigt sich, dass sich die Agenten zu sogenannten „gierigen Agenten“ entwickeln und stets ausschließlich den bisher gelernten besten Weg präferieren und beschreiten, ohne jedoch den womöglich besten Pfad entdecken zu wollen. Diese stark mit dem zeitlichen Faktor verknüpfte Eigenschaft lässt sich recht einfach mittels durchgängiger Belohnungen oder Bestrafungen für jeden beschrittenen Zustand regulieren, sodass im Optimalfall tatsächlich der gesamte Raum vollständig erkundet wird und die damit erstrebenswerteste Zielfunktion ermittelt werden kann (vgl. Russel et al. 2012, S. 960-989).

Zum Abschluss dieses Kapitels sei zusammenfassend zusätzlich erwähnt, dass es sich beim maschinellen Lernen im Grunde stets um einen von der Umwelt bestimmten Lernprozess handelt, welcher durch mathematisch fundierte Berechnungen vollzogen wird. Lernpsychologisch ließe sich dies am besten mit dem behavioristischen Ansatz vergleichen, denn das jeweilige Programm verarbeitet Reize in Form von Eingaben und reagiert auf diese lediglich mit einer entsprechenden Ausgabe, ohne jedoch ein tiefergehendes Verständnis aufzubauen oder ein solches zu erlangen (vgl. Hubwieser 2007, S. 3-4).

2.7. Tiefes Lernen

Im Zuge des letzten Entwicklungsschritts widmen wir uns abschließend dem aktuell besonders begriffsbekannten Bereich des „Deep Learning“, welcher allerdings nun vielmehr als Unterpunkt des maschinellen Lernens zu verstehen ist und weniger als „eigenständigen Bereich“ der künstlichen Intelligenz, wie dies bisher der Fall war. Der Grund, dem tiefen Lernen dennoch ein eigenes Kapitel zuzuordnen, begründet sich neben den zahlreichen Errungenschaften der letzten Jahre vor allem in der Einzigartigkeit dieses Fachbereichs und in den bestehenden Hoffnungen dieser Forschungsrichtung. Ein Autorenteam beschrieb die aktuelle Lage sinngemäß folgendermaßen (vgl. Copeland 2016):

However, the latest boom has a significant difference from the past booms. Yes, that is deep learning. Deep learning has achieved what the past techniques could not achieve. What is that? Simply put, a machine itself is able to find out the feature quantity from the given data, and learn. With this achievement, we can see the great possibility of AI becoming a reality, because until now a machine couldn't understand a new concept by itself and a human needed to input a certain feature quantity in advance using past techniques created in the AI field (Sugomori et al. 2017, S. 5)

Das tiefe Lernen, welches auf neuronalen Netzwerkrepräsentationen beruht, ist keineswegs eine völlig neuartige Disziplin, wie oftmals angenommen wird oder das Zitat vielleicht vermuten lassen könnte. Bereits im Jahr 1943 haben McCulloch und Pitts das sogenannte McCulloch-Pitts-Neuron entwickelt, ein Modell eines ersten künstlichen Neurons, welches schon zu Beginn ein großer Hoffnungsträger im Bereich des Konnektionismus war (vgl. Luger 2001, S. 401-422; 461-465). Besonders innovativ war weiters das von Rosenblatt im Jahr 1957 publizierte Modell des Perceptrons, das im Gebiet des überwachten Lernens die einfachste Struktur eines neuronalen Netzwerkes darstellt und durch folgende Grafik veranschaulicht werden kann (vgl. Rosenblatt 1957):

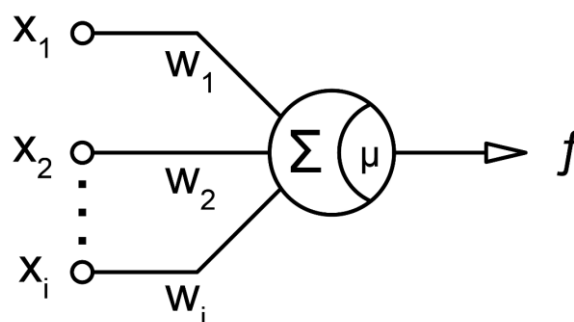


Abbildung 1: Perceptron

Gezeigt wird das Konzept eines Perceptrons, welches mehrere Eingabevariablen x_1 bis x_i besitzt und jeweils einer Gewichtung w_1 bis w_i , die als Multiplikator fungieren, zugeordnet sind. Die einzelnen Produkte werden schließlich in der Eingabefunktion Σ aufsummiert und der Aktivierungsfunktion μ

übergeben, welche sodann den Ergebniswert y liefert. Die Aktivierungsfunktion selbst kann je nach Anwendungsfall unterschiedliche Ausprägungen besitzen – im ursprünglichen Modell beispielsweise wurde diese durch eine Sigmoidfunktion gebildet. Wenngleich die damaligen Errungenschaften bereits in den Anfängen große Aufmerksamkeit auf sich gezogen hatten und man an der Erstellung mehrschichtiger Modelle forschte, gerieten diese aufgrund der damals bestehenden Problematik, keine nicht linear trennbaren Daten verarbeiten zu können, wie es beispielsweise auch für das Exklusiv-Oder-Gatter notwendig ist, aus dem Blickwinkel der Forschung (vgl. Luger 2001, S. 461-465). Erneut aufgegriffen wurde das Konzept erst wieder ab den 1980er Jahren und erlangte durch fortwährende Entwicklungen besonders ab ungefähr 2011 an umfassender Popularität (vgl. Krizhevsky et al. 2012, S. 84-90).

Heute bedient man sich im Generellen nur noch ausschließlich mehrschichtigen Modellen, welche aus einem Input-Layer, einem Hidden-Layer, der in der Regel selbst aus unzähligen einzelnen Schichten besteht, und dem Output-Layer konstruiert sind. Jede Schicht ist aus zahlreichen Perceptronen aufgebaut und führt entsprechend der Aktivierungsfunktion definierte Berechnungen durch, je nach Aufgabe der Schicht. Eine der einfachsten Varianten stellt das Feedforward-Netz dar, das im Gegensatz zu einem rekurrenten oder rückgekoppelten Netz in der Eingabeschicht nur einmalig Daten erhält und diese gerichtet, somit azyklisch, an die nächste Schicht weitergibt. Ergibt sich die Situation, dass alle Perceptronen einer Netzstruktur mit allen Inputs und Outputs der benachbarten Schichten verknüpft sind, so spricht man auch von einem „fully connected Layer“. Als konkretes Beispiel einer Netzarchitektur kann das sogenannte Convolutional Neuronal Network genannt werden, welches vor allem bei der Verarbeitung von räumlich angeordneten Daten, wie unter anderem Bild- und Audioinformationen, überzeugt. Gilt es nun beispielsweise den Inhalt eines Bildes zu analysieren, so wird im ersten Schritt, der Convolution, das zu evaluierende Bild in mehrere Teilbereiche unterteilt und jene im Anschluss mit sogenannten Features verglichen. Bei diesen handelt es sich jeweils um bereits abgespeicherte Bildinformationen, sodass im Zuge der Überprüfung der Teilpixel des Gesamtbildes die Übereinstimmungswerte in sogenannte Feature-Maps übertragen werden. Je nach Anzahl dieser Features entstehen so mehrere Feature-Maps, die in dem Hidden-Layer an mehrere Schichten und somit auch an zahlreiche Aktivierungsfunktionen übergeben werden. Ein weiterer Schritt, das sogenannte Pooling, ist ein ebenso wesentlicher und markanter Prozess für das Convolutional Neuronal Network. Dieser übernimmt die Aufgabe der Verkleinerung der oftmals sehr großen Feature-Maps, indem nun erneut mehrere nebeneinanderliegende Werte verglichen werden, um den zumeist größten Wert an die sodann nächste Schicht übergeben zu können. Diese könnte als Aktivierungsfunktion wiederum die recht

bekannte rectified linear unit verwenden, welche durch $f(x) = \max(0, x)$ definiert ist. Im Zuge dieser werden, wie ersichtlich, negative Werte auf null gesetzt, sodass sich die Wertemenge im Rahmen des Transfers der Informationen in die nächste Schicht, durch die Multiplikationen mit den Gewichtungen, entsprechend minimiert. Derartige erläuterte Abfolgen werden, je nach Anwendungsfall, nun in unzähligen unterschiedlichen Reihenfolgen mehrfach durchgeführt, sodass am Ende ein korrektes Ergebnis das Ziel darstellt. Hierfür, wie bei allen Formen neuronaler Netze, bedarf es jedoch noch eines elementaren und essentiellen Schrittes, dem Lernprozess. Die soeben erläuterte Netzwerkarchitektur bedarf aus diesem Grund eine Lern- und Testmenge, um das Netz zu trainieren und hierbei die korrekten Gewichtungen zu errechnen. Der hier zugrundeliegende Vorgang, die Backpropagation mittels einer Minimierung der Fehlerfunktion durch Berechnungen des Gradientenabstiegs, ist bereits aus dem Kapitel des maschinellen Lernens bekannt – das dort genannte Risiko der Überanpassung bleibt selbstverständlich auch in diesem Bereich präsent ist (vgl. Alpaydin 2019, S. 25-144)⁸. Neben dieser überwachten Lernmethode bestehen durchaus auch die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Lernformen, die mögliche Bandbreite an verfügbaren Möglichkeiten ist groß und die angestrebten Ziele weiterhin herausfordernd (vgl. Mnih et al. 2013).

2.8. State of the Art und praktische Anwendungsbeispiele

Auf den letzten Seiten haben wir uns nun überblicksmäßig mit allen relevanten theoretischen Kernaspekten der Entwicklung der künstlichen Intelligenz beschäftigt, ohne jedoch spezifisch auf diverse praktische Kernbereiche einzugehen. Besinnen wir uns auf den zu Beginn dieser Arbeit erwähnten Test von Turing oder gar auf E.T.A Hoffmans roboterähnliche Figur zurück, so muss zweifelsohne festgehalten werden, dass die Verarbeitung der natürlichen Sprache, ebenso wie auch die Robotik, Bereiche sind, welche wohl kaum differenziert von den Entwicklungen „der künstlichen Intelligenz“ betrachtet werden können und daher besonders wichtige Entwicklungsstränge darstellen. Vermag man weiters einen Blick in die Medien zu werfen, so ist es keinesfalls mehr verblüffend, beinahe wöchentlich von neuen revolutionären Errungenschaften zu lesen, die sich dem Konzept intelligenter Systeme bedienen und eine nun bloße Aufzählung einzelner technologischer Umsetzungen aus diesem Grund kaum zweckdienlich wäre. Als ausgesprochen übersichtlich offenbart sich das Ende 2016 von Kristian Hammond erstellte „Periodensystem der KI“, welches den Bereich der künstlichen Intelligenz in 28 Elemente unterteilt. Jedes dieser in die

⁸ Anmerkung: Weiterführende Literatur und Ergänzungen finden sich auch bei (Russel et al. 2012, S. 845-882) und (Luger 2001, S. 401-422; 461-480). Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich etwaige Grundlagen zudem auf diese beiden Werke.

Gruppen „Assess“, „Infer“ und Respond“ unterteilte Elemente repräsentiert nun eine Teilfunktion, die „sich historisch als gekapselte Funktionalität einer bestimmten Komplexität und Mächtigkeit etabliert hat“, sodass die Bildung von Tripel eine systematische Reflexion über „Einsatzzwecke, Chancen und Risiken von KI“ ermöglicht (vgl. Bitkom 2018, S. 15; 18):

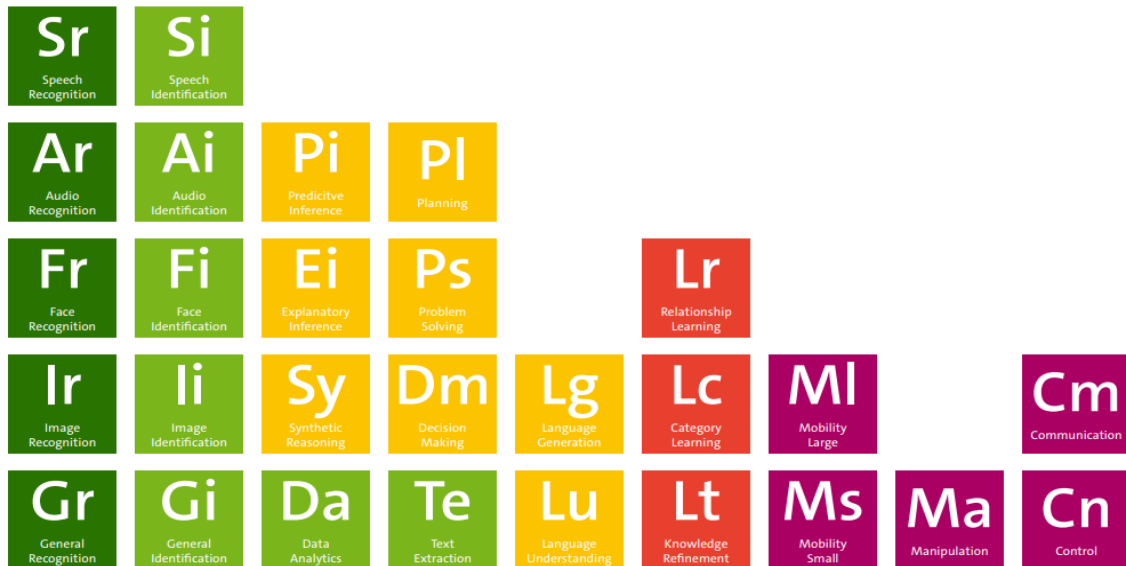


Abbildung 2: Periodensystem der KI (Hammond 2016, S. 15)

Um nun nicht erneut gänzlichst theoretisch zu bleiben, sei eine Online-Projektliste des Fraunhofer Instituts genannt, die weit über 300 Beispiele aus mehr als 14 Branchen listet, welche verschiedene Formen von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen anwenden. Ursprünglich wurde diese Projektliste im Zuge einer in Zusammenarbeit mit dem deutschen Bundesministerium durchgeführten Studie im Jahr 2018 veröffentlicht, allerdings anschließend fortgeführt und laufend erweitert (vgl. Fraunhofer-Allianz Big Data, 2018). Wenngleich der Erfolg von medial sehr häufig behandelten Themen, wie den Innovationen im Bereich des autonomen Fahrens oder der frühzeitigen Erkennung von Krankheiten, nun keineswegs zu schmälern ist, so erscheinen uns diese nicht selten aufgrund der häufigen Behandlung kaum mehr als außergewöhnlich bahnbrechend oder innovativ, zumal wir hiervon zumeist nur lesen und breite Anwendungen noch einige Jahre in Anspruch nehmen könnten (vgl. Uber Investor 2020). Genannt seien folgend daher vier womöglich etwas außergewöhnlichere Beispielprojekte, die die Integrität intelligenter Systeme in Bereichen veranschaulichen, welche dem einen oder anderen vermutlich bisher weniger omnipräsent erschienen:

Das Unternehmen PEAT GmbH beispielsweise entwickelt eine Bilderkennungssoftware, welche die Erkennung von Schäden an Pflanzen ermöglicht, sodass die Agrarwirtschaft von einer deutlichen

Optimierung des Ernteertrags profitieren könnte. Die Software kann sowohl in Gewächshäusern, aber auch mittels Agrardrohnen eingesetzt werden, wodurch die Maximierung der Ernte sogar trotz einer Verringerung von Pestiziden ermöglicht wird.⁹

Ein weiteres Beispiel ist die Firma Kewazo GmbH, welche Roboter für die erleichterte und raschere De-Montage von Baugerüsten entwickeln. Verarbeitet werden hierfür Informationen, welche Gerüstteile wo und in welcher Menge zur Verfügung stehen und aufgrund der Position der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen aktuell benötigt werden, sodass diese mit der maximalen Effizienz an die erforderliche Stelle gelangen.¹⁰

Eine Softwarelösung für die Versicherungsbranche wird von der PICTURE GmbH angeboten. Das Unternehmen verspricht eine Wertbestimmung fotografierten Schadensobjekte und evaluiert außerdem gleichzeitig die möglichen Schadensursachen, um damit mögliche Eigenschäden aufzudecken, mit welchen versucht wird, Versicherungsleistungen zu erschleichen.¹¹

Ein weiteres Konzept, nun ein solches der Fraunhofer IOSB selbst, ist ein durch den Einsatz von überwachten und unüberwachten Lernverfahren konzipiertes Verfahren, um anhand erlernter Verhaltensmodelle Unregelmäßigkeiten an maschinellen Produktionsketten zu erkennen und somit bereits vorausschauend mögliche durch einen Verschleiß bedingte Fehlerquellen prognostizieren zu können und die Effizienz zu maximieren.¹²

Über den Verlauf aktueller Forschungen, insbesondere inwieweit diese unseren zukünftigen Alltag beeinflussen werden, kann verständlicherweise nur spekuliert werden. Einen interessanten Indikator stellt jedoch der sogenannte „Hype-Zyklus“ von Gartner dar, welcher neue technologische Entwicklungen gemäß ihrer aktuellen Aufmerksamkeit und der effektiven Produktivität bewertet und damit eine durchaus anerkannte Bewertungsfunktion darstellt.

⁹ Vgl. <https://peat.technology> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

¹⁰ Vgl. <https://www.kewazo.com> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

¹¹ Vgl. <https://picture.ai> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

¹² Vgl. <https://www.idmt.fraunhofer.de/de/institute/projects-products/projects/acme.html> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Für den Bereich der künstlichen Intelligenz wurde im Juli 2020 folgende Einordnung vorgenommen (vgl. Gartner o.J.)¹³:

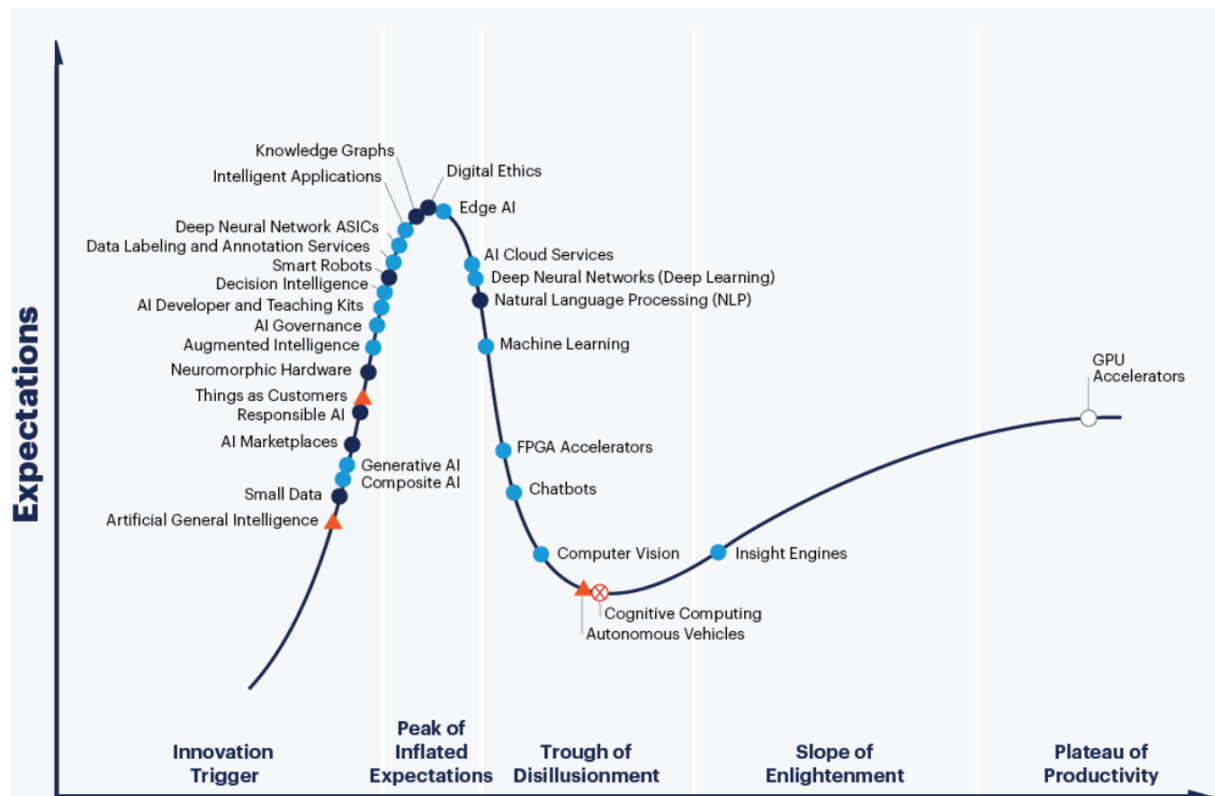


Abbildung 3: Hype Cycle (Gartner 2020)¹⁴

Während die Rechenleistung von Grafikprozessoren, die vor allem für die Effektivität der zahlreichen notwendigen Rechenoperationen im Bereich der neuronalen Netze verantwortlich sind, das Niveau der angemessenen Produktivität erreicht haben, befinden sich die meisten Bestrebungen in der Startphase auf dem Weg zum Maximum der Funktion – die sogenannte „Edge-KI“, welche intelligente Systeme zwecks geringerer Latenzen und einer höheren Zuverlässigkeit aus der Cloud direkt in Endgeräte transferieren möchte, aktuell an der Spitze (vgl. Li et al. 2020, S. 447-457). Vermag man nun auch in Hinblick aller genannten Entwicklungen, eine Gemeinsamkeit zu definieren, so kann als klare Antwort der technische Fortschritt genannt werden. Wenngleich das Mooresche Gesetz, welches die konstante Verdoppelung der Transistoren eines Prozessors prognostiziert hat, faktisch am Ende steht (vgl. Molter et al. 2018, 90-95), so beweist es dennoch die stete Entwicklung der letzten Jahrzehnte, an welche zahlreiche Anwendungen gekoppelt und aufgebaut sind, die heute unter dem marketingtechnisch angenehmen Begriff der KI vermarktet werden.

¹³ Vgl. <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

¹⁴ <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/2-megatrends-dominate-the-gartner-hype-cycle-for-artificial-intelligence-2020/> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Bevor dieser sich ausschließlich mit der künstlichen Intelligenz behandelnde Teil dieser Arbeit mit einer Zusammenfassung der wichtigsten historischen Ereignisse abgeschlossen wird, um sodann den Blickwinkel auf Aspekte des Unterrichts zu lenken, sei noch der ebenso bereits angedeutete Punkt der „realen künstlichen Lebewesen“ erwähnt, gegenüber welchen die Menschheit die Kontrolle verlieren könnte, wie es durchaus nicht selten von Laien befürchtet wird.

Begrifflich wird neben allen genannten Kategorisierungen zwischen der sogenannten „starken“ und „schwachen“ künstlichen Intelligenz unterschieden. Die starke künstliche Intelligenz ist nun jene Form, die unserer menschlichen Intelligenz gleichwertig ist und damit in der Lage ist, eigenständig Entscheidungen zu treffen, Aktionen zu setzen und sich selbstständig weiterzuentwickeln. Wenngleich nun alle diese Punkte bereits in gewissen Teilbereichen erreicht werden, man vermag nur an einen Staubsaugroboter mit Kartenspeicherung und Teppicherkennung zu denken, so handelt es sich bei allen solchen dennoch weiterhin um Systeme ohne Verstand und ohne Seele. Sämtliche bisher entwickelten intelligenten Systeme sind daher schlichtweg „einfache“ Computerprogramme schwacher künstlicher Intelligenz – allein die grundsätzliche Möglichkeit, je eine starke Form entwickeln zu können, ist wissenschaftlich keineswegs unumstritten, sodass vermutlich selbst Gartners Hype Cycle, diesen Tag nicht mehr „erleben wird“ (vgl. Sugomori et al. 2017, S. 5).

2.9. Zeitstrahl der wichtigsten Ereignisse

Möchte man nun einige der wichtigsten Meilensteine der KI bis heute zusammenfassen, so kann dies zum einen in Hinblick auf die theoretischen und konzeptuellen Aspekte unternommen werden, aber auch anhand diverser konkreter Anwendungsbeispiele. Im Rahmen dieses Kapitels wurde nun ein Zeitstrahl entworfen, welcher beide dieser Gesichtspunkte zu vereinen versucht und gemeinsam darstellt. Auch blieben die bereits im Zuge dieser Arbeit „großen Entwicklungsstufen“ unberücksichtigt. Dies ist nun zum einen der Tatsache geschuldet, dass diese, gleich wie zumeist sämtliche anderen Epochen, selten über ein genaues Start- und Enddatum verfügen, zum anderen waren jene allerdings auch, wie in der Grafik ersichtlich, über die gesamte Historie stets in zumindest geringem Ausmaß präsent. In den 1980er Jahren waren es beispielsweise Expertensysteme, die als die Technik der Zukunft galten und von welchen man sich enorme wirtschaftliche Vorteile erhoffte. Neben vielzähligen Umsetzungen beweist dies auch der im Jahr 1981 von Japan angekündigte Zehnjahresplan für die Entwicklung intelligenter Systeme unter dem Namen „5. Generation“, auf welchen die USA mit einem neuen Forschungskonsortium sofort reagierten. Auch heute spielen viele dieser Systeme eine noch entscheidende Rolle. Auf den angeführten Chatbot ELIZA wird im Laufe

der Arbeit noch ein wenig näher Bezug genommen, sodass auf eine konkrete Ausführung an dieser Stelle verzichtet wird. Die beiden „KI-Winter“ stellen Niederschläge in den vergangenen Forschungen und technischen Bestrebungen dar, welche sodann zu Abwendungen vom gesamten Bereich geführt haben. Konkret war es zunächst eine Publikation von Minsky und Papert (vgl. Minsky et al. 1969), welche unter anderem die augenscheinlichen Grenzen von Perzeptronen beleuchteten. In einem wenig später von Lighthill veröffentlichten Artikel (vgl. Lighthill 1973) wurden anschließend auch die kombinatorischen Herausforderungen notwendiger Berechnungen beschrieben, sodass dies schließlich die Einstellung von Forschungsgeldern zur Folge hatte und weitere Fortschritte erheblich bremste.

Das Expertensystem „MYCIN“, welches das schon zuvor erfolgreiche wissensensitive System „DENDRAL“ in dessen Innovation „ablöste“, erlangte umfangreiche Bekanntheit, da dieses häufiger korrekte Diagnosen von Blutinfektionen ermitteln konnte, als Jungmediziner oder Jungmedizinerinnen und damit, auch aufgrund einiger eingebauter Sicherheitsfaktoren, die eine Begründung der

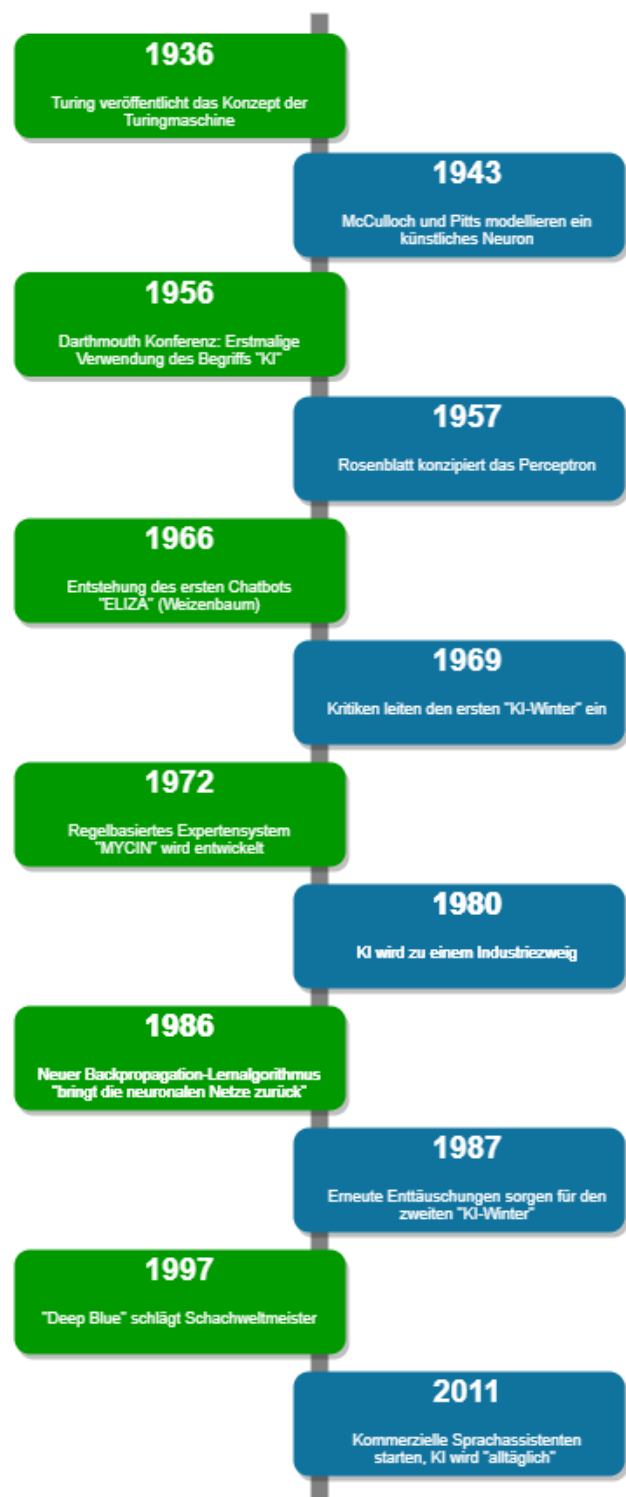


Abbildung 4: Zeitstrahl wichtigster Ereignisse

Entscheidungen erlaubten, ausgesprochen geschätzt wurde. Im Jahr 1986 sorgte die Anwendung einer Weiterentwicklung des Backpropagation Algorithmus für neuronale Netze für ein erneutes Aufleben jener (vgl. Werbos 1982), die zunehmend erkennbaren Grenzen von Expertensystemen leiten jedoch wenig später den zweiten „KI-Winter“ ein. In den letzten Jahren sind es vor allem

Anwendungen, die mediale Aufmerksamkeiten generieren. Bereits 1997 schlug der von IBM konzipierte Schachcomputer den damaligen Weltmeister Kasparow und seither gewinnen weitere Implementierungen, wie beispielsweise Apples „Siri“, vor allem seit 2011 zunehmend an Bedeutung in unserem Alltag (vgl. Russel et al. 2012, S. 39-54).

3. Der schulische Informatikunterricht

Nachdem wir einen recht umfangreichen Überblick über die Entwicklungen der Disziplin der künstlichen Intelligenz erlangen konnten, wollen wir uns nun konkret mit dem schulischen Informatikunterricht als solchen auseinandersetzen.

3.1. Die ersten Schritte des Informatikunterrichts in Österreich

Die Einführung des Informatikunterrichts in das österreichische Schulwesen wurde vor allem durch die Wirtschaft induziert ins Leben gerufen, denn der Computer war in berufsbildenden Schulen bereits lange vor den Allgemeinbildenden Höheren Schulen in regelmäßiger Verwendung. Schon im Jahr 1970 führte man im mittleren und höheren technischen und gewerblichen Lehrwesen den Freigegegenstand „EDV“ als Unterrichtsversuch ein und etablierte dieses nur drei Jahre später zum zweistündigen Pflichtgegenstand, mit Schwerpunkten in Maschinenbau, in der Betriebstechnik oder der Elektrotechnik. Wenige Jahre später, im Schuljahr 1977/1978, weitete sich die Verbindlichkeit des neuen Unterrichtsfachs auch für alle anderen technischen Lehranstalten aus. Die Handelsakademien und Handelsschulen folgten ab dem Schuljahr 1971/1972, und so erweiterte man die Lehrpläne um das Unterrichtsfach „Datenverarbeitung“ und passte sich inhaltsbezogen ab 1978 zunehmend den Anforderungen der Wirtschaft an. Auch das humanberufliche Schulwesen beschäftigte sich ab den Anfängen der 1980er Jahren mit Anwendersoftware in diversen Unterrichtsfächern, welche teilweise sogar von den Fachlehrern und Fachlehrerinnen selbst programmiert und erstellt wurden. An den AHS verlief der Start ein wenig chaotischer. Vereinzelt starteten diese die allerersten Versuche eines EDV-integrativen Unterrichts ebenso sehr früh im Schuljahr 1969/1970, ab dem Schuljahr 1972/1973 unternahm man sogar speziell für die Oberstufe konzipierte Schulversuche mit der Bezeichnung „EDV im Mathematikunterricht“, die Fortführung dieser wurde allerdings recht bald aufgrund nicht erreichter zuvor gesetzter Arbeitshypothesen eingestellt. Im Schuljahr 1976/1977 löste man schließlich den fachintegrativen Charakter, sodass den Schülerinnen und Schülern ab der AHS-Oberstufe ein Freifach angeboten wurde, welches sich gänzlich auf die EDV konzentrierte. Die Durchführung der Unterrichtseinheiten in externen Rechenzentren war dabei auch keine Seltenheit, denn die notwendigen technischen Ausstattungen fehlten an den AHS oft und besserten sich erst Anfang der 1980er Jahre mit ausgelieferten Geräten wie dem C 64 oder dem Apple II. Als Durchbruch könnte schließlich das Schuljahr 1985/1986 bezeichnet werden, als aufgrund von Forderungen von Arbeitgeber- und Arbeitnehmer-Vertretern die verbindliche Übung „Informatik“ in den 5. Klassen der AHS eingeführt wurde, die im Zuge eines Freifaches nun auch bis zur Maturaklasse fortgeführt werden konnte.

3.1. Die ersten Schritte des Informatikunterrichts in Österreich

Im Zuge der wenige Jahre später erfolgten Oberstufenreform per 1989/90 wurde der Informatikunterricht der fünften Klassen zu einem verbindlichen Pflichtgegenstand und das Freifach von der 6. bis zur 8. Klasse zu einem Wahlpflichtfach mit möglicher Maturareife aufgewertet. Auch am Polytechnischen Lehrgang wurde die unverbindliche Übung „Informatik“ ab dem Schuljahr 1986/1987 angeboten, sodass sich ab diesem Jahr allen Absolventen der Pflichtschule die Möglichkeit der Teilnahme an zumindest einem computerspezifischen Basisunterricht bot (vgl. Prowaznik 1993, S. 10-14).¹⁵

Die Einführung des Informatikunterrichts an den AHS und am Polytechnischen Lehrgang erfolgte im Zuge einer Bundesinitiative unter dem Namen „Computer-Bildung-Gesellschaft“, wodurch ab August 1984 bereits 260 Lehrkräfte mit den neu geforderten Fachkenntnissen vertraut gemacht werden konnten, in einem Zeitraum von nur sechs Monaten. Die angebotene Grundausbildung, welche sich über einen Zeitraum von zehn Tagen erstreckte, „vermittelte einen Einblick in die Bedienung, Funktionsweise und Programmierung von Mikrocomputern und bezog auch die sozioökonomische Dimension des Mikroelektronik-Einsatzes [...] ein.“ (Reiter 2012, S. 863). Bis zum Ende des Schuljahres 1984/1985 haben durch den Einbezug von Schulungen der Lehrpersonen des Polytechnischen Lehrgangs schließlich bereits über 500 Lehrpersonen die sogenannten CBG-Seminare besucht. Dem Grundkurs folgten in den kommenden Jahren weitere vertiefende Fortbildungen im Bereich der Betriebssysteme, Programmiersprachen, Textverarbeitungen oder zum Beispiel Datenbank Anwendungen – auch ein von der Österreichischen Computer Gesellschaft jahrelang angebotenes Seminarprogramm und Softwarewettbewerbe für Schüler und Schülerinnen setzten Anreize für eine intensivere Beschäftigung mit der Materie (vgl. Reiter 2012, S. 862-868).

Diesen Konzepten blieb man bis heute nahezu unverändert treu. Die zwei seither größten Veränderungen sind die Einführung eines eigenen Lehramtsstudiums „Informatik und Informatikmanagement“ ab dem Studienjahr 1999/2000 sowie die dem Schuljahr 2017/2018 festgelegte verbindliche Übung „digitale Grundbildung“ für alle Schulen der Sekundarstufe I., welche den Schülerinnen und Schülern zahlreiche Grundkompetenzen im Bereich der Informatik vermitteln soll (vgl. Reiter 2010, S. 5).¹⁶

¹⁵ Vgl. auch [http://paedpsych.jk.uni-linz.ac.at/paedpsych/netschule/netschuleliteratur/PC NEWS/Informatik3.html](http://paedpsych.jk.uni-linz.ac.at/paedpsych/netschule/netschuleliteratur/PC%20NEWS/Informatik3.html) (zuletzt aufgerufen am 14.12.2020)

¹⁶ Vgl. auch <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/dgb.html> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

3.2. Informatikunterricht als Allgemeinbildung?

Wie bereits erwähnt, etablierte sich der Informatikunterricht an den AHS nicht zuletzt aufgrund gewisser Forderungen, welche aus der Wirtschaft entstammten. Bevor wir uns nun den Lehrplänen des Unterrichtsfaches selbst widmen, sei zunächst die Bedeutung des Faches an den Gymnasien reflektiert. Die Funktion der allgemeinbildenden höheren Schulen selbst ist im Schulorganisationsgesetz wie folgt definiert: „Die allgemeinbildenden höheren Schulen haben die Aufgabe, den Schülern eine umfassende und vertiefte Allgemeinbildung zu vermitteln und sie zugleich zur Universitätsreife zu führen.“ (§34 Abs. 1 SchOG). Was jedoch kann nun unter diesem spezifischen Begriff der Bildung verstanden werden? Ist das, was von der Allgemeinheit benötigt wird, unter dem Begriff der Allgemeinbildung zu fassen? Denkt man an den Großteil der heute üblicherweise notwendigen Computerkenntnisse, so werden diese vermutlich allesamt durch die neue Übung „Digitale Grundbildung“ abgedeckt. Gleichzeitig befasst sich kein Unterrichtsfach mit den Kenntnissen des Autofahrens oder einer grundlegenden Finanzbildung.

Konkrete Definitionen der Allgemeinbildung gibt es nun zahlreiche. Der Erziehungswissenschaftler und Bildungsberater Wolfgang Klafki lehnt sich hier an die „Idee des Ausgangs aus einer selbstverschuldeten Unmündigkeit“ (vgl. Klafki 2007, S. 19-15) von Immanuel Kant an und strebt somit die „Befähigung zu vernünftiger Selbstbestimmung“ jedes Individuums an. Hierbei ist nun nicht nur die individuelle, sondern auch die gesellschaftliche Perspektive relevant, da die zuerst genannte nur durch „Aneignungs- und Auseinandersetzungsprozessen mit einer Inhaltlichkeit“ erlangt werden kann. Inhalte werden nun vor allem durch die Verallgemeinerung „menschlicher Kulturtätigkeit“ generiert, sodass gleichwohl auch zukunftsbezogenen Aspekten eine besondere Bedeutung beizumessen ist (vgl. Heudorfer 2020, S. 176). Diesem Gedankengang kann nun auch in Bezug auf den Informatikunterricht eindeutig zugestimmt werden, so ist man sich in vielerlei Hinsicht einig. Wenngleich die Finanzwirtschaft mit Sicherheit ebenso zahlreiche diskussionsbedürftige Facetten besitzt, so ist doch die Tatsache, dass das Autofahren oder das Befüllen eines Erlagscheins nicht an einer AHS gelehrt werden, durch die grundsätzliche Abgeschlossenheit und die Eigenschaften der hier zugrundeliegenden Fertigkeiten begründet. Durchaus darf selbstverständlich, um das zu Beginn dieser Arbeit erwähne inkorporierte Kulturkapital erneut zu referenzieren, keine Art von Bewertung unterschiedlicher Inhalte vorgenommen werden, da schließlich jegliche Art einer Kompetenz förderlich und somit erstrebenswert ist, gleichzeitig müssen doch situationsbedingte Differenzierungen getroffen werden (vgl. Bourdieu 1992). Der größte Unterscheidungsfaktor ist nun der vermittelte Inhalt selbst, wobei nun zwischen reinen Fertigkeiten und grundlegenden Konzepten zu unterscheiden ist, und

dies ist nun der springende Punkt. Dem Informatikunterricht liegen zahlreiche Konzepte zugrunde, welche den Lernenden mit Fähigkeiten ausstatten, um folgend neue Bereiche in vielerlei Disziplinen eigenständig und selbstbestimmt zu erfahren und zu erschließen. Wilhelm von Humboldts Bildungsbegriff, welcher als jener des Neuhumanismus definiert werden kann, forderte eine allgemeine, rege und freie Wechselwirkung zwischen dem „Ich“ und der Welt, zusammengefasst somit die aktive Beschäftigung des Individuums mit dessen Umwelt, um diese durch Interaktion vielseitig zu erfahren (vgl. Koller 2004, S. 71-92). Auch Klafki selbst, der als Kritiker des klassischen Bildungsbegriffs hervortritt, unterstreicht in seinen epochaltypischen Schlüsselproblemen die Bedeutung der Beschäftigung mit den Chancen und den neuen Technologien (vgl. Klafki 2007, S. 56-69). Die digitale Revolution, welche hin und wieder auch als die dritte industrielle Revolution betrachtet wird, verändert unbestritten unsere Welt (vgl. Bäcker 2008, S. 125-128). Ob man nun die Notwendigkeit der vertieften Beschäftigung mit unseren Werkzeugen, deren Verwendung gar lange Zeit als Unterscheidungsmerkmal zwischen Mensch und Tier galt (vgl. Becker et al. 1998, S. 111-123), mit einem der obig genannten Werke begründet, durch Platons Höhlengleichnis (vgl. Szlezák 2019, S. 547-568) oder aufgrund mancher apokalyptischen Publikationen wie Spitzers „Digitale Demenz“ (vgl. Spitzer 2012), die Konzepte der Informatik befähigen uns, unsere moderne Welt zu verstehen und umfassend mit dieser interagieren zu können. So ermöglichen uns die Konzepte, im Bereich der Sicherheit zum Beispiel, unsere Online-Konten ausreichend sicher zu schützen oder auch neuartige Absperntechnologien eines Kraftfahrzeugs zu bewerten. Kenntnisse im Bereich der Kryptographie lassen uns wiederum das Prinzip einer Bankomatkarte oder die Verschlüsselung beim Online-Shopping verstehen – der Standpunkt ist klar, weitere Beispiele könnten nun zahlreich genannt werden. Nievergelt veranschaulicht dieses Prinzip mit einem „Informatikturm“, welcher als Fundament die Theorie besitzt und alle darüberliegenden Stockwerke auf diese aufbauen, bis zuletzt die Anwendungsmethodik die Spitze krönt (vgl. Nievergelt 1995, S. 342-344). Essentiell, so Hartmann, sei vor allem das notwendig zu vermittelnde Konzeptwissen, weniger das spezifische Produktwissen (vgl. Hartmann 2003; S. 8-10). Selbiges kritisiert auch Mittermeir, der eine häufig genannte Problematik beschreibt, wonach sich der Pflichtunterricht an den AHS hauptsächlich auf die Grundlagen der Computernutzung konzentriert, die beispielsweise bereits im Zuge des ECDL-Führerscheins gelehrt werden würden (vgl. Mittermeir 2010, S. 55). Dies dürfte sich aufgrund der neuen „digitalen Grundbildung“ etwas verändern, auf welche allerdings, ebenso wie zu den Beiträgen der Informatik zu weiteren grundlegenden Bildungsbereichen, erst in den folgenden Kapiteln genauer Bezug genommen wird.

Die soeben genannten Gründe veranschaulichen die Essentialität des Informatikunterrichts im Bereich der Allgemeinbildung. Wenngleich sich die letzten beiden Seiten lediglich auf den Unterricht der Informatik im Allgemeinen bezogen haben, so gilt es, im Sinne des Konzeptwissens, stets auch eine kritische Reflexion aller zu behandelnden geplanten Themen durchzuführen. Dem Thema „der künstlichen Intelligenz“ könnten die obig genannten Ausführungen jedoch vermutlich nahezu unverändert beigelegt werden, sodass auf ein entsprechendes Kapitel mit derselben Fragestellung verzichtet wird.

3.3. Die Lehrpläne im Wandel der Zeit (1989-2017)

Im Folgenden seien nun die Inhalte und Entwicklungen der Lehrpläne im Unterrichtsfach „Informatik“ an den allgemeinbildenden höheren Schulen bis zur Einführung des kompetenzorientierten Unterrichts betrachtet.

Die Lehrpläne im Unterrichtsfach Informatik haben sich, und dies mag für dieses Fach womöglich zunächst sehr überraschen, seit der Oberstufenreform im Jahr 1989 kaum drastisch verändert. Bis zu jener Reform wurde das Fach Informatik an den AHS, auf welche wir uns im Folgenden ausschließlich beziehen, lediglich als verbindliche Übung angeboten, sodass dieses nach dem Schulunterrichtsgesetz auch nicht mit Schulnoten zu beurteilen war (§18 Abs. 13 SchOG). Die Oberstufenreform änderte dies letztlich, sodass das Fach zu einem nun zweistündigen Pflichtgegenstand für alle fünften Klassen umgewandelt wurde. Informatikbegeisterte hatten nun außerdem die Möglichkeit, das Fach als Wahlpflichtfach zu wählen und dieses mit in Summe sechs Wochenstunden bis zur Matura fortzuführen und bei Wunsch sogar die mündliche Reifeprüfung zu absolvieren.

Aufgrund der soeben genannten „Trennung“ der Informatik in Pflicht- und Wahlpflichtgegenstand sind auch die Lehrpläne differenziert zu betrachten, sodass der Übersicht wegen auch in dieser Arbeit eine Unterteilung vorgenommen wird.

Zunächst gilt es zu erwähnen, dass die Lehrpläne der AHS aus in Summe sechs Teilen bestehen, welche sich im Jahr 2004 ebenso verändert haben. Bis dahin gliederten sich diese in die „Allgemeine Bestimmungen“, das „Allgemeine Bildungsziel“, die „Allgemeinen didaktischen Grundsätze“, die „Studentafel“, die „Lehrpläne für den Religionsunterricht“ sowie die „Lehrpläne der einzelnen Unterrichtsgegenstände“. Ab 2004 entfiel der zuvor erste Teil „Allgemeine Bestimmungen“ und der Abschnitt „Schul- und Unterrichtsplanung“ wurde nach den didaktischen Grundsätzen als nun

dritter Teil eingeführt (vgl. BMBWF 2019).¹⁷ Da sich im Jahr 2017 erneut eine umfangreiche Änderung des Lehrplans ergeben hat, durch welche auch diese Teile angepasst wurden, wird im später folgenden Kapitel genauer auf die Inhalte eingegangen. Grundlegend ist hier jedoch anzumerken, dass die drei Teile zunehmend umfangreicher wurden. Im Lehrplan 1989 umfassen die ersten drei Bereiche sieben Seiten, ab 2004 bereits 15 Seiten und ab 2017 knapp 19 Seiten.

3.3.1. Informatik 5. Klasse

Der im Jahr 1989 beschlossene Lehrplan hatte, wie soeben erwähnt, bis zum Schuljahr 2003/2004 Bestand und wurde durch eine Änderung erstmalig per 08.07.2004 überholt, wobei der bisherige Lehrplan, wie auch nachfolgend stets üblich, für jene auslaufenden Oberstufenklassen gültig blieb, die bereits nach diesem unterrichtet wurden. Jedem Interessierten sei angeraten, selbst einen Blick in die jeweiligen Bundesgesetzblätter zu werfen, da leider erneut keineswegs auf jeden einzelnen Punkt genau eingegangen werden kann. Die damaligen Bildungs- und Lehraufgaben lassen aus heutiger Perspektive zwar durchaus einen etwas historischen Hintergrund erahnen, die Lerninhalte haben sich bis heute wiederum allerdings nicht sonderlich stark verändert. Obgleich der Lehrplan eine punktuelle Auflistung vermied, so könnte man den Lehrstoff folgend zusammenfassen:

- Verfahren zur Problemlösung (zyklisches Phasenmodell zur Problemlösung)
- Hardware (Aufbau und Arbeitsweise vom Prozessor bis hin zur Peripherie)
- Grundzüge einer Programmiersprache kennenlernen
- Datenstrukturen
- Einführung in ein Betriebssystem
- Anwendersoftware (Textverarbeitung, Dateiverwaltung, Tabellenkalkulation)
- Informatik und Gesellschaft
- Datenschutz
- Geschichte der Informatik

Im Kapitel der unterrichtsspezifischen didaktischen Grundsätze wird besonders eine vernetzte und daher keine sukzessive Abfolge der jeweiligen Unterrichtsinhalte gefordert. Wichtig ist neben der Berücksichtigung der Erlebniswelt der Schüler und Schülerinnen außerdem ein fächerübergreifender sowie praktisch orientierter Unterricht, der geeignete Literatur und konkrete Standardsoftware integriert.

¹⁷ Vgl. https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp/lp_ahs.html (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Im Jahr 2004 änderten sich schließlich alle Lehrpläne des Unterrichtsfachs und der Lehrstoff wurde mit nun acht punktuell genannten Themenbereichen umstrukturiert. Inhaltlich änderte sich nicht sonderlich viel, wenngleich der Anwendersoftware sodann weitaus mehr Bedeutung beigemessen wurde als bisher. So seien zwei der acht Punkte folgend genannt:

- „Die Schülerinnen und Schüler sollen den sicheren Umgang mit Standardsoftware zur schriftlichen Korrespondenz, zur Dokumentation, zur Publikation von Arbeiten, zur multimedialen Präsentation sowie zur Kommunikation erreichen“
- „Die Schülerinnen und Schüler sollen Einblicke in wesentliche Begriffe und Methoden der Informatik, ihre typischen Denk- und Arbeitsweisen, ihre historische Entwicklung sowie ihre technischen und theoretischen Grundlagen gewinnen und Grundprinzipien von Automaten, Algorithmen und Programmen kennen lernen“.

Vergleicht man die Anzahl und die Art der fachlichen Komponenten, die nun jeweils in diesen beiden Punkten angeführt sind, so kann der zuvor von Mittermeier genannten Kritik aus dem Jahr 2010, dass sich der Lehrplan der Informatik der 5. Klasse AHS vermehrt mit Standardsoftware beschäftigen würde, durchaus Gültigkeit zugeschrieben werden.

3.3.2. Informatik 6-8. Klasse

Der Lehrplan 1989 verweist in Bezug auf den fachspezifischen Lehrplan für das Wahlpflichtfach der 6. bis 8. Klasse vollständig auf das bis dahin hauptsächlich vorhandene eigenständige Freifach Informatik. Dieses nennt nun den anzustrebenden fächerübergreifenden Unterricht als allerersten Punkt in der Bildungs- und Lehraufgabe, aber auch Eigenverantwortung, gesellschaftliches Verantwortungsbewusstsein, Kreativität und soziale Lernformen werden als wichtige Unterrichtsziele genannt. Der Lehrstoff unterteilt sich nun in die jeweiligen Unterrichtsjahre und umfasst knapp eine A4 Seite (vgl. BMUKS, 1989). Im Folgenden seien einzelne Beispielpunkte genannt¹⁸:

6. Klasse:

- Vertiefung von Programmierkenntnissen
- Vertiefung von Betriebssystemkenntnissen
- Kennenlernen spezieller Algorithmen und Datenstrukturen
- Vertiefung über die Textverarbeitungkenntnisse
- Behandlung von unterschiedlichsten Anwendungsgebieten der Mikroelektronik

¹⁸ Anmerkung: Da man damals auch hier die punktuelle Auflistung vermied, seien die Aufzählungen als zusammenfassende, eigene Formulierungen zu betrachten.

- Unterrichtsprojekt mit fächerübergreifender Thematik aus dem sozioökonomischen Bereich

7. Klasse:

- Einführung in weitere höhere Programmiersprachen
- Prozesssteuerung und Robotik
- Das Arbeiten mit Daten (Datensicherung, Datenorganisationsformen, Datenbanksysteme, Datenschutz, ...)
- Behandlung von unterschiedlichsten Anwendungsgebieten der Mikroelektronik
- Anwendungsprojekt mit fächerübergreifender Thematik

8. Klasse:

- Vertiefung der erlernten Programmiersprachen
- Verwendung von Standardsoftware als Werkzeug der Informatik
- Zwei je nach Interesse der Lernenden wählbare Themen aus:
 - Statistische und prognostische Verfahren
 - Künstliche Intelligenz, Expertensysteme, Autorensysteme, komplexe Simulationen
 - Anwendung der Mikroelektronik in Wirtschaft oder Verwaltung
 - Datennetze, Rechnerverbund (BMUKS, 1989)

Der für das Wahlpflichtfach sodann stufenweise ab dem 01.09.2005 gültige Lehrplan ändert sich nun grundlegend und etabliert eine besonders umfangreiche und individuelle Gestaltungsmöglichkeit.

Der Lehrstoff wurde wortwörtlich folgend festgeschrieben:

6. bis 8. Klasse:

- Grundprinzipien der Informationsverarbeitung
- Konzepte von Betriebssystemen
- Aufbau und Funktionsweise von Netzwerken
- Datenbanken
- Lern- und Arbeitsorganisation
- Konzepte von Programmiersprachen
- künstliche Intelligenz
- Erweiterung der theoretischen und technischen Grundlagen der Informatik
- grundlegende Algorithmen und Datenstrukturen
- Informatik, Gesellschaft und Arbeitswelt
- Rechtsfragen (BMBWK, 2004)

3.4. Die Bildungsstandards und der kompetenzorientierte Unterricht

Die fachspezifischen Bildungs- und Lehraufgaben sowie die didaktischen Grundsätze wurden neu und umfangreicher formuliert, unterscheiden sich in Bezug auf die Kernaussagen jedoch ebenso nicht sonderlich stark von den bisherigen. Neben dem Entfall der Unterteilung des Lehrstoffes in die jeweiligen Unterrichtsjahre fällt auch die Reduktion der Stellung des zuvor doch sehr stark geforderten fächerübergreifenden Unterrichts auf, welcher fortan lediglich mit folgender Formulierung ins Licht gerückt wird: „Die Hinführung zu modul- und projektartigen Arbeiten bereitet sowohl eine Grundlage für das Fach selbst als auch für die fächerübergreifende Kooperation.“ (BMBWK, 2004). Für den Fokus dieses Forschungsinteresses ist weiters die positive Änderung hervorzuheben, dass sich das Thema der künstlichen Intelligenz nun als ein fester Bestandteil des Pflichtlehrstoffes manifestiert hat und nicht mehr ein mögliches Wahlthema blieb.

Der neue Lehrplan ab 2017 revidiert die 2004 getroffene Entscheidung der Auflösung der strengen Einteilung der jeweiligen Lehrkapitel je nach Schulstufe und schreibt nun, ganz im Sinne des kompetenzorientierten Lehrplans, eine Kategorisierung der zu vermittelnden Inhalte nach den einzelnen Semestern vor. Wenngleich dies vor allem durch den neuen kompetenzorientierten Unterricht begründet ist, auf welchen im weiteren Verlauf noch näher eingegangen wird, stellt dies dennoch eine ungemeine Konfliktsituation dar, sodass das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung um Auskunft nach den damals ausschlaggebenden und sicherlich evaluierten Gründen der Auflösung des bereits bestandenen semesterorientierten Lehrplans gebeten wurde. Leider blieb die am 09.01.2021 versandte Anfrage allerdings bisher unbeantwortet.

3.4. Die Bildungsstandards und der kompetenzorientierte Unterricht

Bevor nun die am 09.08.2016 beschlossenen und bis heute gültigen Lehrpläne des Unterrichtsfachs Informatik spezifisch betrachtet werden können, ist es zunächst empfehlenswert, Bezug auf andere grundlegende und fachungebundene Reformen zu nehmen, den Bildungsstandards. Diese wurden im Zuge einer am 08.08.2008 ausgegebenen Verordnung ab dem 01.09.2008 in das Schulunterrichtsgesetz integriert und können als „formulierte Lernergebnisse“ beschrieben werden, die sich auf spezifische oder gar mehrere fachlich im „Zusammenhang stehende Pflichtgegenstände beziehen“ und fortan durch den Bundesminister in die jeweiligen Schulstufen schrittweise zu integrieren sind (vgl. BMUKK, 2008). Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung schreibt jenen vor allem eine „Orientierungsfunktion“, eine „Förderungsfunktion“ sowie eine „Evaluationsfunktion“ zu. Österreich ist hinsichtlich dieser Einführung keineswegs allein, so findet sich im europäischen Wirtschaftsprogramm „Europa 2020“, welches Anfang 2010 vorgeschlagen und wenig später beschlossen wurde, folgender Beschluss: „Die

3.4. Die Bildungsstandards und der kompetenzorientierte Unterricht

Mitgliedsstaaten [...] sind aufgefordert, die Ergebnisse der Bildungseinrichtungen zu verbessern und zu diesem Zweck ein integriertes Konzept zu entwickeln, in dem jede einzelne Stufe (Vor-, Grund-, Sekundar-, Berufs- und Hochschule) berücksichtigt wird [und] Schlüsselkompetenzen festgelegt werden [...].“ (Europäische Kommission 2010; S. 14). Im Vorblatt des Ministerialentwurfs des neuen Bundesgesetzes wird sogar von der eigenen Position des Landes als Nachzügler gesprochen, denn „viele europäische Länder haben Bildungsstandards bereits in ihren Schulsystemen verankert“ (BMUKK, 2008, Ministerialentwurf). Als Hauptgesichtspunkt des Entwurfs, heißt es weiter im Text, ist als wichtige Funktion der Bildungsstandards das „Instrument der Qualitätssicherung im Bildungsbereich“ zu nennen, sodass die Steuerung und Planung des österreichischen Bildungswesens künftig besser durchgeführt werden kann. Die praktische Umsetzung erfolgt mittels konkret formulierter Kompetenzen, welche „psychische Dispositionen des Menschen als Ergebnis erfolgreicher Lernergebnisse [sind und aus] zusammenhängenden Komponenten von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten [bestehen.]“ Weiters „befähigen [sie] Menschen, bestimmte Leistungen zu erbringen, [und daher] Aufgaben oder Probleme in konkreten Anforderungssituationen zu bewältigen.“ (BMUKK, 2008, Ministerialentwurf) Weinert nennt drei Typen von Kompetenzen, die dem schulischen Unterricht entspringen:

- „fachliche Kompetenzen (z.B. physikalischer, fremdsprachlicher, musikalischer Art)
- fachübergreifende Kompetenzen (z.B. Problemlösen, Teamfähigkeit)
- Handlungskompetenzen, die neben kognitiven auch soziale, motivationale, volitionale und oft moralische Kompetenzen enthalten und es erlauben, erworbene Kenntnisse und Fertigkeiten in sehr unterschiedlichen Lebenssituationen erfolgreich, aber auch verantwortlich zu nutzen.“ (Weinert 2014; S.28)

Besonders wichtig ist in diesem Bezug vor allem die ausgewogene Bildung aller drei Kompetenzformen. Wenngleich es selbstverständlich kaum zielführend sein wird, fachliche Inhalte zu vernachlässigen, sollen die Handlungskompetenzen dennoch stärker in den Vordergrund gerückt werden. Weinert drückt dies so aus, dass „Schulen weder eine Generation von Fachidioten[,] noch eine Generation geschwätziger Dilletanten (sic) ausbilden [sollen].“ (Weinert 2014; S.28) Im Vordergrund steht somit vor allem auch die zu erreichende Nachhaltigkeit der Kompetenzen, sodass diese möglichst aufbauend und fortwährend über die gesamte Schullaufzeit auszubilden sind. Hinsichtlich der erforderlichen Anpassung der Lehrpläne an die Bildungsstandards orientierte man sich stark an der Lernzieltaxonomie nach Bloom. Dieser entwickelte drei verschiedene Dimensionen von Lernzielen, nämlich kognitiver, affektiver und psychomotorischer Form, um Verhalten zu beschreiben, das durch die Umsetzung präziser Lernziele in Verhaltensziele erreicht werden könne.

3.4. Die Bildungsstandards und der kompetenzorientierte Unterricht

Während sich die letzten beiden Varianten vor allem auf Interessen, Werte und Bewegungsabläufe fokussieren, kennzeichnen die kognitiven Lernziele „Wissen über Fakten, Konzepte, Regeln, Prozeduren oder Prinzipien“ (Mayer 2009, S. 32) und werden durch die sechs Hauptklassen Wissen, Verstehen, Anwenden, Analyse, Synthese und Bewerten betitelt. Ähnlich wie bei dem bereits erläuterten „Informatik-Turm“ von Nievergelt bauen auch diese Klassen aufeinander auf und ermöglichen es somit Lernziele auf kognitiv unterschiedlichen Komplexitätsniveaus zu behandeln und eine objektive Kategorisierung zu erreichen. Genannt wurden zudem, je nach Stufe, zahlreiche typische Verben wie zum Beispiel „wiedergeben“, „verstehen“, „anwenden“, „analysieren“, „entwickeln“, welche direkt in Form von Deskriptoren übernommen wurden und die neuen kompetenzorientierten Lehrpläne der einzelnen Fächer in der die Inhalts- und Handlungsebene verknüpfenden Funktion am auffälligsten prägen.

Für die Erfolgsmessung gibt es periodische Überprüfungen der Lernergebnisse, welche für die Schulen sogleich als Feedback wahrzunehmen sind. Neben internationalen Studien wie PIRLS und PISA¹⁹ gab es bis zum Schuljahr 2018/2019 die Bildungsstandardüberprüfung (BIST-Ü), welche seither als iKM²⁰, beziehungsweise künftig als iKMplus, weitergeführt wird. Gemessen werden aktuell die Kompetenzen in den Fächern Deutsch (Lesen), Mathematik und Englisch (Receptive Skills: Listening & Reading). Wenngleich die durchgeführten Kompetenzüberprüfungen rein den Zweck einer Optimierung des Schulunterrichts verfolgen und in keinem Fall für die Beurteilung der Lernenden herangezogen werden dürfen, stehen den Lehrpersonen im Rahmen der iKM(plus) die jeweiligen Resultate Ihrer Schüler und Schülerinnen zur Verfügung. Besonders dieser Aspekt fehlt bei internationalen Studien und wird daher nicht selten von den einzelnen Lehrpersonen bemängelt.²¹ Selbstverständlich dienen die Ergebnisse der Studien jedoch nicht nur als „Impuls für die Qualitätsentwicklungsprozesse“ am Schulstandort selbst, sondern ebenso für das jeweilige Land und den Bund.²²

¹⁹ „Progress in International Reading Literacy Study“ und „Programme for International Student Assessment“

²⁰ „Informelle Kompetenzmessung“

²¹ Der Autor dieser Arbeit ist mehrmals selbst Testleiter beider angeführten internationalen Studien gewesen und erhielt dieses Feedback häufig von unterschiedlichen Lehrkräften.

²² Vgl. <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/bef/bist/bildungsstandards.html> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

3.5. Der aktuell gültige Lehrplan (ab 2017)

Am 09.08.2016 wurden die neuen Bildungsstandards schließlich auch für die Lehrpläne der Oberstufe beschlossen, sodass nun klar formulierte Kompetenzen die jeweiligen Semesterinhalte prägen. Diese Änderung setzte gleich zu Beginn nicht nur bei sämtlichen fünften, sondern auch bei allen sechsten Klassen an, sodass das Wahlpflichtfach Informatik schon ab dem 01.09.2017 mit dem neuen kompetenzorientierten Unterricht startete. Die bereits in 3.2 angesprochenen Teile des Lehrplans haben sich strukturell nicht verändert, inhaltlich allerdings sehr wohl.

Der erste Teil, das „allgemeine Bildungsziel“, ist selbst in sechs Bereiche unterteilt und erläutert die Funktion und die Gliederung des Lehrplans, den gesetzlichen Auftrag, die Leitvorstellungen, die Aufgabenbereiche der Schule sowie die Bildungsbereiche. Die Leitvorstellungen beinhalten neben einer Auflistung aktueller gesellschaftlicher Veränderungen vor allem anzustrebende Ziele, welche zusammengefasst im Zuge einer aufgeklärten, aufgeschlossenen und positiven Persönlichkeitsentwicklung mit einem sinnerfüllten Leben erreicht werden könnten. In den Aufgabenbereichen der Schule werden neben religiös-ethisch-philosophischen Dimensionen auch wissens- und kompetenzbezogene Eigenschaften gezählt, beispielsweise die Selbst- und Sozialkompetenz (vgl. BMB, 2016). Die bis 2004 noch ausschließlich genannten „Unterrichtsprinzipien“ wurden in die fünf Bildungsbereiche „Sprache und Kommunikation“, „Mensch und Gesellschaft“, „Natur und Technik“, „Kreativität und Gestaltung“ sowie „Gesundheit und Bewegung“ eingeteilt und formulieren durch stete Ergänzungen Zielsetzungen in den Bereichen

Gesundheitserziehung, Erziehung zur Gleichstellung von Frauen und Männern/Gender Kompetenz, Medienerziehung, Musische Erziehung, Politische Bildung, Interkulturelles Lernen, Sexualerziehung, Lese- und Sprecherziehung, Umwelterziehung, Verkehrserziehung, Wirtschaftserziehung, Erziehung zur Anwendung neuer Technologien [sowie die] Vorbereitung auf die Arbeits- und Berufswelt (BMB, 2016).

Der zweite Teil, die „allgemeinen didaktischen Grundsätze“, benennen auf knapp über vier Seiten die zehn folgenden bedeutenden didaktischen Prinzipien: „Anknüpfen an die Vorkenntnisse und Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler“, „Interkulturelles Lernen“, „Mehrsprachigkeit“, „Diversität und Inklusion“, „Förderung durch Differenzierung und Individualisierung“, „Förderunterricht“, „Stärken von Selbsttätigkeit und Eigenverantwortung“, „Herstellen von Bezügen zur Lebenswelt“, „Reflexive Koedukation und gendersensible Pädagogik“ sowie „Sicherung des Unterrichtsertrages und Rückmeldungen“. Aufgrund der selbst erläuternden Begriffsbestimmungen wird auf eine nähere Erläuterung dieser Punkte verzichtet.

Der dritte Teil „Schul- und Unterrichtsplanung“ definiert zahlreiche grundlegende Bestimmungen, wie zum Beispiel die Leistungsfeststellungsmöglichkeiten, die Betreuungsbestimmungen oder aber auch das Konzept des fächerverbindenden und fächerübergreifenden Unterrichts.

Der vierte Teil umfasst die konkreten Stundentafeln und legen somit die zu unterrichtende Stundenanzahl der jeweiligen Fachbereiche pro Unterrichtsjahr fest.

Der fünfte Teil beschreibt die Lehrpläne für den Religionsunterricht und der sechste Teil die Lehrpläne der einzelnen Unterrichtsgegenstände, in welchem auch jener des Informatikunterrichts vorzufinden ist (vgl. BMB, 2016).

3.5.1. Informatik 5. Klasse

Die unterrichtsgegenstandsbezogenen Lehrpläne sind nun in die „Bildungs- und Lehraufgaben“, in die „Beiträge zu den Bildungsbereichen“, in die „didaktische[n] Grundsätze“ sowie erneut in die „Bildungs- und Lehraufgabe“, nun auch inklusive dem „Lehrstoff“ kategorisiert und spezifizieren die zuvor genannten Lehrplanbereiche auf das Unterrichtsfach in den einzelnen Bereichen. Während der zweite Teil der Bildungs- und Lehraufgaben erkennbar kompetenzorientierter verfasst wurde, definiert der erste Bereich die Informatik als „den Wesenskern des digitalen Zeitalters“, sodass die „Inhalte [...] daher allgemeinbildend [sind]“ und weiters „einem fundierten Weltverständnis“ dienen.

Die Beiträge zu den Bildungsbereichen sind besonders umfassend und thematisieren die sprachlichen Aspekte des Informatikunterrichts, welche sich nicht nur durch die „abstrakt formale Sprache“ einer Programmiersprache beispielsweise begründen, sondern auch durch die der elektronischen Kommunikation bedingten Veränderungen innerhalb unserer Gesellschaft. Hier knüpft der Bereich „Mensch und Gesellschaft“ an und erinnert an „Auswirkungen, Möglichkeiten, Grenzen und Gefahren“ der neuen Informationstechnologien und differenziert zwischen den Schülerinnen und Schülern als eigenständige, „denkende, handelnde, fühlende und sich entwickelnde Menschen im Unterschied zu einer lernenden Maschine“. Gleichmaßen leistet die „Modellbildung, Formalisierung und Abstraktion [...] einen wesentlichen Beitrag“. Während auf die Kreativität oberflächlicher Bezug genommen wird, wird bei „Gesundheit und Bewegung“ die Möglichkeit der Nutzung der Informatik im Sport- und Gesundheitsbereich erwähnt, ebenso „die Bedeutung eines ergonomisch gestalteten Arbeitsplatzes“.

Auch die didaktischen Grundsätze sind recht umfangreich und nennen zahlreiche sehr wertvolle Unterrichtsmöglichkeiten – so ist neben einer ausreichenden Vielfalt der Sozialformen auch explizit von Unterrichtsprojekten und Exkursionen die Rede. Der fächerübergreifende Unterricht jedoch,

welcher noch bis ins Jahr 2005 durchgeführt werden „sollte“, wurde bis 2016 als „eventuell dienlich“ im Lehrplan erwähnt und nun, im Zuge der letzten Änderung, als vorgeschlagene Option gänzlich gestrichen.

Der Lehrstoff unterteilt nun vier Inhaltsdimensionen „Informatik, Mensch und Gesellschaft“, „Informatiksysteme“, „Angewandte Informatik“ sowie die „Praktische Informatik“. Als einige wichtige zu behandelnde Themen seien nun die folgenden genannt:

- Informatik und Gesellschaft
- Datensicherheit und Datenschutz
- Grundlagen von Betriebssystemen
- Grundlagen von Netzwerken
- Standardsoftware für die Erstellung und Veröffentlichung eigener Arbeiten
- Standardsoftware für Kalkulationen
- Umgang und Bewertung elektronischer Inhalte
- Grundkonzepte der Informatik
- Grundprinzipien von Algorithmen, Datenstrukturen und Programme
- Grundlagen von Datenbanken

Besonders auf diesen Lehrplan sei noch im Verlauf des Kapitels 3.6 erneut Bezug genommen.

3.5.2. Informatik 6-8. Klasse

Der fachspezifische Lehrplan des Wahlpflichtfachs gliedert sich in die drei Bereiche der „Bildungs- und Lehraufgaben“, der „didaktischen Grundsätze“ sowie der „Bildungs- und Lehraufgaben, Lehrstoff“, wobei in diesem Bereich nun auch explizit zwischen den Kompetenzen und der Inhalts- und Handlungsdimension unterschieden wird. Das Unterrichtsfach wird als frei gewählte Fortführung des Pflichtfachs definiert und soll somit erweiterte und vertiefte Kenntnisse vermitteln. Bei den didaktischen Grundsätzen beruft man sich auf jene des Pflichtfachs, schließt nun allerdings ausdrücklich auch den fächerübergreifenden Unterricht mit ein.

Der Lehrstoff selbst wird im Zuge der Kompetenzorientierung in die bereits bekannten Inhaltsdimensionen des Pflichtfachs und in die Handlungsdimensionen „Wissen und Verstehen“, „Anwenden und Gestalten“ und „Reflektieren und Bewerten“ unterteilt. Während die Lerninhalte zwischen den Jahren 2005 und 2017 mit in Summe elf Punkten für sechs Semester festgeschrieben wurden, gliedern sich diese nach der Neuerung aufgrund der neuen Bildungsstandards in nun semesterunterteilte Kompetenzmodule auf knapp vier ausgefüllten A4 Seiten. Die folgende Grafik veranschaulicht die jeweiligen Themenschwerpunkte und deren Vorkommen in den jeweiligen

Semestern drei bis sieben. Das achte Semester, in welchem die Lernenden in der Regel die Reifeprüfung absolvieren, beinhaltet keine neuen Themen mehr und soll als Möglichkeit genutzt werden, Inhalte zu wiederholen, zu vertiefen und Inhalte weiter zu vernetzen. Die Spalte „V“ repräsentiert bereits erlernte Vorkenntnisse in diesem Bereich, die im Zuge der fünften Klasse vermittelt wurden.

	V	3	4	5	6	7
Informatiksysteme						
Technische Grundlagen und Funktionsweisen	✓	✓		✓	✓	✓
Betriebssysteme und Software	✓	✓				✓
Netzwerke	✓		✓		✓	
Mensch-Maschine-Schnittstelle						✓
Angewandte Informatik						
Produktion digitaler Medien	✓	✓				
Kommunikation und Kooperation	✓	✓				✓
Kalkulationsmodelle und Visualisierung	✓		✓	✓		
Suche, Auswahl und Organisation von Informationen	✓			✓		
Praktische Informatik						
Algorithmen, Datenstrukturen und Programmierung	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Datenmodelle und Datenbanksysteme	✓			✓		
Konzepte der Informationsverarbeitung	✓				✓	✓
Intelligente Systeme						✓
Informationstechnologie, Mensch und Gesellschaft						
Verantwortung, Datenschutz und Datensicherheit	✓				✓	✓
Geschichte der Informatik	✓				✓	✓
Berufliche Perspektiven	✓				✓	
Bedeutung von Informatik in der Gesellschaft	✓					✓

Selbstverständlich sind die gelisteten Themenbereiche des Wahlpflichtfachs je Semester stets auch mit den genauen zu erreichenden Kompetenzen versehen.

3.6. Die „Digitale Grundbildung“ – Eine österreichische Interim-Reform?

Im Rahmen eines 2016 veröffentlichten Berichts der europäischen Kommission, welcher die bisherigen Umsetzungen in Bezug auf die Bestrebungen reflektierte, den digitalen Kompetenzrahmen der Bürger und Bürgerinnen zu verbessern (DigComp 2.0), wird festgehalten, dass im Jahr 2015 weiterhin beinahe die Hälfte aller Personen im Alter zwischen 16 und 74 Jahren unzureichende digitale Kompetenzen besitzen, um erfolgreich an der Gesellschaft und der Wirtschaft teilzunehmen (vgl. Vuorikari et al. 2016). Wenig später, im Jänner 2017, präsentierte die damalige Unterrichtsministerin schließlich auch eine Digitalisierungsstrategie für Österreich, die „Schule 4.0“, und kündigte damit unter anderem die Einführung einer digitalen Grundbildung ab der Volksschule an, welche in den Lehrplänen verankert wird und mithilfe eines „digi.checks“ überprüft werden soll.²³

Im Schuljahr 2017/2018 startete die verbindliche Übung „Digitale Grundbildung“ somit bereits als Pilotversuch an 178 Neuen Mittelschulen und AHS-Unterstufen und wurde mit einem Beschluss vom 19. April 2018 schließlich für alle übrigen Standorte dieser Schultypen ab dem Schuljahr 2018/2019 fest eingeführt. Wie konkret die Integration dieser neuen verbindlichen Übung erfolgt, kann schulautonom entschieden werden. Möglich ist die Umsetzung sowohl im Rahmen einer definierten Stunde als auch fächerintegrativ, und kann im Ausmaß von zwei bis vier Wochenstunden innerhalb der gesamten Sekundarstufe I umgesetzt werden. Der Lehrstoff für die AHS ist recht umfangreich und umfasst die folgenden Themenpunkte, welche jeweils ausführlich beschrieben sind:²⁴

- Gesellschaftliche Aspekte von Medienwandel und Digitalisierung
 - Digitalisierung im Alltag*; Chancen und Grenzen der Digitalisierung*; Gesundheit und Wohlbefinden
- Informations-, Daten- und Medienkompetenz
 - Suchen und finden; Vergleichen und bewerten; Organisieren, Teilen*
- Betriebssysteme und Standard-Anwendungen
 - Grundlagen des Betriebssystems*; Textverarbeitung*; Präsentationssoftware*; Tabellenkalkulation*
- Mediengestaltung
 - Digitale Medien rezipieren; Digitale Medien produzieren; Inhalte weiterentwickeln

²³ Vgl. http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20170123_OTS0045 (aufgerufen am 25.02.2021)

²⁴ Vgl. <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/dgb.html> (aufgerufen am 25.02.2021)

3.6. Die „Digitale Grundbildung“ – Eine österreichische Interim-Reform?

- Digitale Kommunikation und Social Media
 - Interagieren und kommunizieren*, An der Gesellschaft teilhaben; Digitale Identitäten gestalten; Zusammenarbeiten*
- Sicherheit
 - Geräte und Inhalte schützen*; Persönliche Daten und Privatsphäre schützen*
- Technische Problemlösung
 - Technische Bedürfnisse und entsprechende Möglichkeiten identifizieren*; Digitale Geräte nutzen*; Technische Probleme lösen
- Computational Thinking
 - Mit Algorithmen arbeiten*; Kreative Nutzung von Programmiersprachen* (BMBWF 2018)

Der aufmerksame Leser oder die aufmerksame Leserin hat nun festgestellt, dass mehrere dieser in Summe 25 Unterpunkte mit einem Stern versehen sind. Der Grund hierfür ist, dass alle diese 15 markierten Themen teilweise fast vollständige Überschneidungen mit den im Lehrplan der 5. Klasse AHS gelisteten Lehrthemen besitzen, und dies seit nunmehr zwei Jahren. Das „Informatikportal AHS Österreich“, welches als Kontaktpersonen neben dem Landesschulrat für Oberösterreich auch den Landesfachkoordinator der Steiermark sowie zwei AHS Informatiker listet, empfiehlt seither gar einen „(nicht bindenden) Vorschlag zur Adaption des Lehrplans 9. Schulstufe Informatik“, aufgrund der „Akzentuierung diverser Lehrplanbereiche [...] wegen der Digitalen Grundbildung“.²⁵

Die Umsetzung des Lehrplans Digitale Grundbildung wird gemäß eines Rundschreibens vom April 2018 auch durch die vom Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung gehostete Plattform „digikomp.at“ unterstützt, auf welcher es neben zahlreichen Unterrichtsbeispielen auch Überprüfungsmöglichkeiten und weitere Informationen gibt (vgl. BMBF 2018, Informationsschreiben). Im Rahmen des bereits im Schuljahr 2017/2018 durchgeführten Pilotprojekts wurden hierzu bereits an 15 Schulen Befragungen unternommen, um positive und negative Aspekte des Unternehmens evaluieren zu können. Besonders in Hinblick auf die fächerintegrativen Umsetzungen der „neuen“ verbindlichen Übung sind die Ergebnisse, zumindest anhand dieser Erhebung, teilweise durchaus besorgniserregend:

²⁵ <https://www.ahs-informatik.com/informatik-5-klasse/> (aufgerufen am 25.02.2021)

3.6. Die „Digitale Grundbildung“ – Eine österreichische Interim-Reform?

Für einen integrativen Unterricht fehlt es aus Sicht der Befragten (die sich oft als Informatikerinnen und Informatiker bezeichnen und vermutlich die "Erweiterungsprüfung aus Informatik" am ehemaligen Pädagogischen Institut absolviert hatten) in den übrigen Fächern an Lehrenden, die Digitale Grundbildung vermitteln können, oder an Ideen, wie entsprechende Inhalte in den Unterricht anderer Fächer integriert werden könnten (Swertz 2018, S. 13).

Nur kurz darauf heißt es weiter:

Gelegentlich wurde von Lehrenden erwähnt, dass Lehrplanpunkte nicht verstanden wurden oder nicht auf bestimmte Schulformen abgestimmt seien. Einschlägige Weiterbildungen sowie die Möglichkeiten, schulinterne oder schulübergreifende Weiterbildungen in Anspruch zu nehmen, sind bekannt, wurden aber nur in wenigen Fällen genutzt. Diejenigen, die an Weiterbildungen teilnehmen, sind durchwegs zufrieden mit dem Angebot. Diejenigen, die nicht an den Weiterbildungen teilnehmen, erwähnen einen ungünstigen Ruf der Weiterbildungen. Beurteilungen wurden durchwegs nicht vorgenommen. Prüfungen wurden nur im Zusammenhang mit den ECDL – Tests erwähnt (Swertz 2018, S. 13-14).

Die Folge derartiger „Herausforderungen“, wie Swertz anhand von weiteren Interviews zusammenfasst, ist die kaum fachgerechte Vermittlung der Themenpunkte. Dies bestätigt sich auch durch die im Zeitraum dieser Erhebung durchgeführten Fachinhalte. Nur eine Lehrperson berichtete von der Programmierung von Robotern, alle übrigen widmeten sich den Bereichen Medien oder manchen Standardanwendungen (vgl. Swertz 2018, S. 10-15).

Werfen wir weiters erneut einen Blick auf die Website „digi.komp“, so berichtet das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung hier recht aufschlussreich über die Bedeutung der „unverzichtbaren“ digitalen Kompetenzen. Auf der Seite finden sich neben den bereits erwähnten Inhalten zur Digitalen Grundbildung auch Erläuterungen, Unterrichtsbeispiele und Überprüfungsmöglichkeiten für die Primarstufe, aber auch für die Sekundarstufe II und für Lehrpersonen selbst. Da der Lehrplan der AHS, wie bereits geschildert, den Informatikunterricht lediglich in der Oberstufe verpflichtend anbietet, so sei nun das Augenmerk auf die Kategorie „digi.komp12“ gerichtet, welche eine Unterteilung in „Informatik“, in „Wahlpflichtfach Informatik“ und in „Unterrichtsbeispiele“ vornimmt. Während nun im Bereich „Wahlpflichtfach Informatik“ alle Kompetenzen des Lehrplans des Wahlpflichtfachs formuliert werden, findet sich im Reiter „Informatik“ zwar durchaus ebenso ein überaus übersichtliches und offenkundig durchdachtes Kompetenzmodell wieder, welches jedoch nicht einheitlich mit dem Lehrplan der 9. Schulstufe korreliert. Konkret werden als zu erreichende Ziele Themenschwerpunkte für die „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ und die für diese Arbeit interessanten „intelligenten Systemen“ angeführt, die allerdings nur mit einer ausreichenden Menge Kreativität im offiziellen Gesetzestext des

Lehrplans vermutet werden könnten.²⁶ Aktuell scheinen sämtliche digi.checks überarbeitet zu werden, zumindest lässt sich eine ebenso vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung gehostete Seite ermitteln, auf welcher teilweise bereits neue Versionen eingesehen werden können. Der Reiter „digi.komp12“ ist jedoch noch mit dem Vermerk „Dieser digi.ckeck ist leider noch in Arbeit“ gesperrt.²⁷

Die entscheidende Bedeutung des Unterrichtsfachs Informatik wurde auch schon von der „Informatik Austria“, ein Zusammenschluss von Informatik-Fakultäten und Informatik-Departments sieben österreichischer Universitäten, einschließlich des IST Austria, offen formuliert. Diese haben im Jänner 2020 einen offenen Brief an die aktuelle Bundesregierung verfasst und „die rasche Einführung des Pflichtfachs Informatik vom Beginn der Unterstufe bis zur Matura“ gefordert. Neben wesentlichen Begründungen, welche sich zumeist bereits im Konzept „Europa 2020“ (vgl. Europäische Kommission 2010) wiederfinden, wird auch auf die essentielle Gewichtung einer kompetenten Ausbildung von Lehrpersonen hingewiesen (vgl. Tuwien 2020). Bevor wir dieses Kapitel mit einem Resümee der aktuellen Situation schließen, soll nun noch in Kürze auf den soeben angesprochenen Punkt der Lehrer- und Lehrerinnenfortbildung Bezug genommen werden.

3.7. Die Aus-/ und Fortbildung von Lehrkräften

Die Ausbildung der Lehrkräfte im Unterrichtsfach Informatik an den AHS durchlebte in den letzten Jahrzehnten einen ebenso großen Wandel, wie die Disziplin selbst. Mit der Einführung der verbindlichen Übung Informatik im Schuljahr 1984/1985 wurden vom Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Sport in Kooperation mit den Firmen IBM und Philips Data Systems zehntägige Grundausbildungen für zukünftige Lehrpersonen im Unterrichtsfach Informatik angeboten, damit die ersten Unterrichtseinheiten schon im darauffolgenden Schuljahr gestartet werden konnten. Fortan übernahmen schließlich die pädagogischen Hochschulen die Ausbildung, wurden jedoch zum Teil auch von weiteren Vereinigungen, wie der „Österreichischen Computergesellschaft“ oder dem Wirtschaftsförderinstitut, unterstützt. Besonders früh begann zudem die Universität Wien mit einem interfakultären Lehrgang „Informatik für Lehramtskandidaten“, der allerdings nicht zum Unterricht des eigenständigen Faches befähigte, sondern lediglich Kenntnisse für eine computerunterstützte Gestaltung der jeweils studierten beiden Unterrichtsfächer bot. Eine qualifizierte Ausbildung ermöglichte später die Universität Innsbruck, welche jedoch dennoch ebenso noch kein tatsächliches Studium darstellte (vgl. Prowazik 1993, S. 15). Der Beginn eines

²⁶ Vgl. <https://digikomp.at/index.php?id=530> (aufgerufen am 25.02.2021)

²⁷ Vgl. <https://community.eeducation.at/digicheck/#choose&ui-state=dialog> (aufgerufen am 25.02.2021)

tatsächlichen universitären Lehrgangs starte mit dem Studienjahr 1999/2000 an den Universitäten Wien, Salzburg und Klagenfurt, später auch Linz, Graz und Innsbruck (vgl. Reiter 2010, S. 5). Bis zum Ende des Studienjahres 2018/2019 haben seither bereits 78 Frauen und 168 Männer ein solches Studium erfolgreich absolviert, zwei Frauen und acht Männer hiervon seither bereits im Zuge des im Studienjahr 2014/2015 eingeführten Bachelor-/Mastersystems.²⁸ In einer im Jahr 2005 veröffentlichten Zeitschrift merkte Wegscheider, der Fachberater für Informatik am Landesschulrat für Niederösterreich an, dass es zum damaligen Zeitpunkt an jedem Standort rund drei bis vier Informatiklehrkräfte gäbe, die eine Ausbildung am Pädagogischen Institut absolviert haben, begleitet von zwei bis drei „ungeprüften“ Kollegen oder Kolleginnen, welche diese unterstützen. Bezieht man nun die bis April 2019 hinzukommenden 246 Studienabsolventen und -absolventinnen hinzu, die bereits an einer der 370 österreichischen AHS unterrichten könnten, so ist das heutige Verhältnis nicht völlig different, wenngleich die Situation nun eine andere ist, da die Kompetenzen der Lehrkräfte ohne Studium keinesfalls wertgemindert sein müssen (vgl. Wegscheider 2005, S. 8-10).²⁹ Das seit dem Wintersemester 2014 „neue“ Studium nach dem Bologna-Prozess bietet, ähnlich wie das bis dahin übliche Diplomstudium, neben den üblichen Lehrveranstaltungen der Lehrer- und Lehrerinnenbildung, mehrere breit gefächerte Module und Wahlmöglichkeiten zur persönlichen Gestaltungsvielfalt an. Neben fachlich spezifischen Lerninhalten werden die Studierenden auch von zahlreichen fachdidaktischen Lehrveranstaltungen begleitet, welche die Ausbildung allumfassend abrunden. Die Studienabsolventen und -absolventinnen erlangen im Rahmen des Studiums ein ausreichendes Konzeptwissen, um hiermit ohne Mühen neue Lerninhalte in der Disziplin der Informatik zu erschließen.³⁰

Fortbildungen der Lehrkräfte finden, wie in allen Unterrichtsfächern üblich, weiterhin über die pädagogischen Hochschulen Österreichs statt. Das Angebot der Fortbildungslehrveranstaltungen ist sehr breit gefächert und umfasst neben kernfachlichen auch pädagogische und fachdidaktische Themen. Die pädagogische Hochschule Wien beispielsweise, welche für das Schuljahr 2021/2022 bereits neue Kurse veröffentlicht hat, bietet in diesem beispielsweise die Lehrveranstaltungen „Embedded Systems“, „Aufbau und Funktionsweise autonomer Fahrzeuge“, „Internet of Things“ oder Workshops zu Microcontrollern an. Die durchaus noch zu vernehmende Kritik, dass im Informatikunterricht der AHS ohnehin nur Anwendungssoftware behandelt werden würde, sind daher keinesfalls mehr berechtigt (vgl. Hodnigg et al. 2010, S. 134-146).

²⁸ Vgl. <https://unidata.gv.at/> (aufgerufen am 25.02.2021)

²⁹ Vgl. auch: <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulsystem/sa/ahs.html> (aufgerufen am 25.02.2021)

³⁰ Vgl. z.B. <https://informatik.univie.ac.at/studium/studienangebot/lehramt/#c1339> (aufgerufen am 25.02.2021)

3.8. Zwischenfazit – die künstliche Intelligenz und der Lehrplan

Nachdem nun ein Überblick über die Disziplin der künstlichen Intelligenz als solche geboten wurde und auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen des schulischen Informatikunterrichts bekannt sind, stellt sich nun die Frage, welche Bereiche der KI sich nun wie konkret für die Vermittlung im schulischen Unterricht anbieten. Wie vor allem durch das zweite Kapitel gezeigt wurde, handelt es sich bei der „der künstlichen Intelligenz“ keineswegs um ein einziges Konstrukt, welche alle unsere bekannten und modernen Technologien beflügelt und antreibt. Im Grunde setzt sich das Fachgebiet aus zahlreichen unterschiedlichen Theorien und Methoden zusammen, die das Ziel verfolgen, intelligent zu agieren. Die schon geschilderte Problematik des Begriffs der Intelligenz gilt ebenso für die Bezeichnung vieler Anwendungen, welche man häufig als künstlich intelligente Innovation zu vermarkten versucht. Als sinnvoller Beurteilungsmaßstab dient hier das schon erläuterte Periodensystem der KI, mit welchem sich die Komponente sehr simpel erfassen und einzuordnen lassen. Der Digitalverband Bitkom hat hierfür 2018 sogar eine umfangreiche Beschreibung zu jedem der Periodenelemente veröffentlicht und unter anderem Aufgaben, Zusammenhänge, Bedeutungen und Hürden beschrieben (vgl. Bitkom 2018, S. 24-88). Das Konzept der vielschichtigen künstlichen Intelligenz ist somit besonders essentiell und wesentlich.

Ein lehrplanorientierter Vorschlag gestaltet sich nun leider schwierig, zumindest in Bezug auf die fünfte Klasse AHS, da jener Lehrplan, aufgrund der bereits erläuterten Überschneidungen mit der Digitalen Grundbildung, kaum als zukunftssicher bezeichnet werden kann. Wenngleich die von der Informatik Austria verfasste Forderung nach einem verpflichtenden Informatikunterricht für alle Schullehrjahre an dieser Stelle selbst optimistisch gesehen nun nicht berücksichtigt werden kann, da dann eine vollständige Überarbeitung des gesamten Lehrplans notwendig wäre, so erfordert der schulische Informatikunterricht der fünften Klasse dennoch eine rasche Anpassung. Auch ist die Rolle der auf der Plattform digikomp.at angeführten Kompetenzen für „Informatik“ unklar. Obwohl sich diese wie erläutert vermutlich auf das Pflichtfach Informatik beziehen, sieht dieses, entgegen dem Lehrplan, auch für diese Schulstufe bereits Inhalte über intelligente Systeme vor. Die scheinbar aktuell sich in Bearbeitung befindliche Änderung dieses Kompetenzmodells, aber auch die Tatsache, dass das lehrplanmäßig unvorteilhafte Pflichtfach die Ausgangsbasis des Lehrplans des Wahlpflichtfachs darstellt, verkomplizieren die gesamte Sachlage ungemein. Dennoch, und dies steht fest, können derartige Beantwortungen nicht aufgeschoben werden. Wenngleich es somit offenkundig nach wie vor mehrere zu bearbeitende Baustellen im informatischen Bildungssystem Österreichs gibt, können Lerninhalte nicht aufgeschoben und Lernende nicht getröstet werden,

sodass nun dennoch der Versuch unternommen wird, einen möglichst durchdachten Vorschlag zu äußern.

Die aktuell genannten Kompetenzen auf digikomp.at, die sich nun höchstwahrscheinlich auf das Pflichtfach beziehen, lauten in der Inhaltsdimension „Praktische Informatik“ konkret folgend:

- „Ich kann den Unterschied zwischen menschlicher und maschineller Intelligenz erklären.“
- „Ich kann intelligente Informatiksysteme anwenden.“³¹

Das Wahlpflichtfach Informatik listet die nachstehenden zu erreichenden Kompetenzen:

- Ich kann Bereiche beschreiben, in denen sich Informatiksysteme bzw. Computer intelligent verhalten. Ich kann den Unterschied zwischen menschlicher und maschineller Intelligenz erklären. [Wissen und Verstehen]
- Ich kann intelligente Informatiksysteme anwenden. [Anwenden und Gestalten]
- Ich kann Merkmale menschlicher Intelligenz und künstlicher Intelligenz vergleichen und einschätzen. [Reflektieren und Bewerten]³²

Die in den eckigen Klammern dargestellten Punkte stellen die formulierte Handlungsdimension dar. Der Lehrplan des Wahlpflichtfachs hat das Kapitel der KI für das siebente Semester, also für das erste des Maturajahres eingeplant. Im Sinne der Bildungsstandards und der damit verbundenen durchgängigen Kompetenzbildung ist es jedoch wenig ratsam, lediglich einmalig auf diese Disziplin zu sprechen zu kommen. Aufgrund der breiten Masse an Anwendungsfällen der KI in unserer modernen Welt, bedarf es im Generellen kaum großen Aufwands, um Möglichkeiten zu finden, dieses Thema in allen Inhaltsdimensionen mehrfach einzubinden. Ausgesprochen von Vorteil ist in dieser Hinsicht auch ein Blick auf die konkreten Bildungsbereiche, von welchen sich vor allem vier der fünf besonders anbieten. Da diese bisher lediglich grob beschrieben wurden, seien jene der Inhalte wegen nun folgend vollständig rezipiert:

- „Sprache und Kommunikation:
Konstruktiver Informatikunterricht ist auch Sprachunterricht. Der Mensch-Maschine-Kommunikation liegt im Gegensatz zu natürlichen Sprachen eine abstrakte formale Sprache zugrunde. Informatiksysteme tragen wesentlich zu Veränderungen der Kommunikationskultur bei. Unterschiedliche digitale Repräsentationsformen von Information ergänzen die traditionelle Verständigung und erfordern neue technologische und methodische Kompetenzen. Die vielfältigen Möglichkeiten der elektronischen Kommunikation ermöglichen einen Austausch über Grenzen hinweg und erleichtern die

³¹ <https://digikomp.at> (aufgerufen am 25.02.2021)

³² ebd.

virtuelle Begegnung mit anderen Kulturen. Die davon ausgehende Motivation, Fremdsprachenkenntnisse zu erwerben, wird durch die Verfügbarkeit aktueller und authentischer fremdsprachlicher Informationen und das Fachvokabular verstärkt.“

- „Mensch und Gesellschaft:
Arbeitswelt und privates Umfeld der Menschen verändern sich durch den Einfluss der Informationstechnologien permanent. Durch die Beschäftigung mit diesen Technologien lernen Schülerinnen und Schüler deren Auswirkungen, Möglichkeiten, Grenzen und Gefahren kennen. Die Schülerinnen und Schüler erkennen das Potenzial ihrer eigenen Fähigkeiten als denkende, handelnde, fühlende und sich entwickelnde Menschen im Unterschied zu einer lernenden Maschine. Dies erfordert einen verantwortungsvollen Umgang mit Informationstechnologien.“
- „Natur und Technik:
Durch Modellbildung, Formalisierung und Abstraktion leistet die Informatik einen wesentlichen Beitrag zur Auseinandersetzung mit Natur und Technik und führt zu einer besseren Entscheidungs- und Handlungskompetenz.“
- „Kreativität und Gestaltung:
Der Umgang mit Informationstechnologie gibt den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit, selbst kreativ tätig zu sein und Gestaltungserfahrungen zu machen.“ (BMB, 2016)

Selbstverständlich bieten sich aufgrund des starken interdisziplinären Charakters auch für den fünften Bereich „Gesundheit und Bewegung“ vielzählige Möglichkeiten der Behandlung an. Die Nennung einer kleinen festen Anzahl spezifischer, abgeschlossener und somit unabhängiger Bereiche für die sinnvolle Vermittlung ist aus diesem Grund schwierig. Wenngleich der fächerübergreifende Unterricht in der Informatik nur noch für das Wahlpflichtfach angeraten wird, so eröffnet dieser mit der KI im Speziellen besonders umfangreiche Chancen für inhaltlich wertvolle Unterrichtseinheiten. Als Beispiel kann, unter Anbetracht des ersten soeben beschriebenen Bildungsbereichs „Sprache und Kommunikation“, die Linguistik angeführt werden. Ob nun im Rahmen des Deutschunterrichts mit grundlegenden Sprachkonzepten, oder unter dem Aspekt spezieller Eigenschaften einer Fremdsprache, die Vielfalt ist groß. Kritik gibt es auch an einem häufig ausschließlich anwendungsbezogenen Unterricht der Schul informatik, womit die grundlegenden Konzepte oft im Hintergrund bleiben und die KI „bei derartigen Vermittlungskonzepten [somit] eine Blackbox.“ (Seegerer et al. S. 327). Das im Zuge dieser Arbeit behandelte Kapitel der Entwicklung des Fachbereichs stellt lediglich eine knappe und möglichst verständliche Zusammenfassung von weit über tausend Seiten Theorie zusammen, die selbst ebenso lediglich eine Übersicht ohne intensiver

Behandlung aller mathematischen und anwendungsbasierten Modelle bot, sodass auf den Bereich der Sprache bisher gar nicht eingegangen werden konnte.

Aufgrund der Aktualität und der vielfältigen Anwendungsbereiche bieten sich weiters auch lernende Systeme wie zum Beispiel neuronale Netze an. Insbesondere diese erfordern hinsichtlich des oben letztgenannten Bildungsbereichs ein hohes Maß an Kreativität und Ehrgeiz und ermöglichen außerdem eine umfassende Behandlung der zugrundeliegenden Konzepte.

Um sich letztlich allerdings nicht nur auf wenige Bereiche zu beschränken, ist auch der geschichtliche Aspekt mitsamt dessen Entwicklungen spannend und erlaubt es anhand von einfachen Modellen, oder Abstraktionen grundlegenden Theorien zu begegnen, ähnlich wie bereits zu Beginn dieser Arbeit.

Ebenso, und hiermit binden wir nun den letzten oben genannten Bildungsbereich ein, welcher sich inhaltlich bereits indirekt auf die KI bezieht, ist der gesellschaftliche Aspekt keineswegs zu vernachlässigen. Wenngleich dem Autor dieser Arbeit die ausreichenden inhaltlichen Fachkenntnisse fehlen, so bietet sich dennoch auch ein fächerübergreifender Unterricht mit dem Psychologie-/Philosophieunterricht oder aber mit dem Deutschunterricht an, wenn es um das Thema einer Erörterung oder der grundlegenden Führung zum Beispiel einer Diskussion geht.

4. „Künstliche Intelligenz“ im schulischen Informatikunterricht

Ogleich bereits der Informatikunterricht im Fokus dieser Arbeit stand, waren es hauptsächlich vielmehr grundlegende sowie gesetzliche Aspekte, auf welche vornehmlich Bezug genommen wurde. Ob nun durch die sich stetig wandelnden gesellschaftlichen und fachlichen Rahmenbedingungen bedingt, die den Informatikunterricht besonders betreffen und auf welche Lehrpersonen im Sinne der Professionalisierung stets zu reagieren haben, oder durch die umfassenden Freiheiten bei der Gestaltung des Unterrichts, Fakt ist, dass das Repertoire an unterstützenden Unterrichtskonzepten überaus wesentlich für einen erfolgreichen Unterricht ist. Dieses Kapitel möchte aus diesem Grund einen Blick auf die aktuelle Situation werfen, um sodann ein Fazit über die künstliche Intelligenz im schulischen Informatikunterricht ziehen zu können.

4.1. Unterrichtsmaterialien über „künstliche Intelligenz“ in Schulbüchern

In Österreich besitzt für die Auswahl der jeweiligen Schulbücher vor allem die sogenannte „Schulbuchaktion“ eine entscheidende Rolle. Die vom Bundesrechenzentrum betriebene Plattform definiert konkret:

Die österreichische Schulbuchaktion ist eine familienpolitische und bildungspolitische Leistung. Als Leistung des Familienlastenausgleichs dient die Schulbuchaktion zur finanziellen Entlastung der Eltern und ist gleichzeitig ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung und Chancengleichheit aller Schülerinnen und Schüler. [...] Die Schulbuchaktion wird vom Bundesministerium für Arbeit, Familie und Jugend (BMAFJ) und dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) getragen.

Das BMAFJ ist für die Organisation, den Ablauf und die Finanzierung der Schulbuchaktion zuständig. Das BMBWF koordiniert die pädagogischen Angelegenheiten, didaktischen Richtlinien und Lehrplanerfordernisse.³³

Im Zuge der für das Schuljahr 2020/2021 veröffentlichten Liste finden sich, und dies vermag womöglich zu erstaunen, für die Oberstufe in Summe gar 56 unterschiedliche Angebote für die Gestaltung des Informatikunterrichts. Dieser Umstand scheint, sofern man den verbesserungswürdigen Ruf des vermeintlich veralteten und kaum innovativen Informatikunterrichts mit einem überholten Schiff vergleicht, für enormen Wind in den Segeln zu sorgen, denn für die zuvor beschriebenen 16 Themenschwerpunkte des Lehrplans stünden somit im Durchschnitt jeweils 3,5 unterschiedliche Schulbücher zur Auswahl. Betrachtet man jedoch nun die vom Bundesministerium für Arbeit, Familie und Jugend „empfohlenen“ möglichen Unterrichtsstützen ein wenig näher, so fungieren diese vielmehr als abgefeuerte Kanonenkugeln auf

³³ Vgl. <https://www.schulbuchaktion.at/index.html> (aufgerufen am 25.02.2021)

4.1. Unterrichtsmaterialien über „künstliche Intelligenz“ in Schulbüchern

das „überholte Schiff des Informatikunterrichts“. So sind 44 der 56 Lehrbuchempfehlungen ECDL Medien, welche also allesamt Inhalte des ECDL-Führerscheins behandeln. Besonders faszinierend sind beispielsweise Vorschläge wie das Werk „ECDL - Modul Computer-Grundlagen (mit Windows 7)“ oder „ECDL Modul 3 Word 2010“. Betrachtet man die Tatsache, dass das am 22. Oktober 2009 veröffentlichte Windows 7 seit Jänner 2020 nicht einmal mehr essentielle Sicherheitsupdates oder jeglichen Support erhält, so erstaunt leider nicht sonderlich, dass auch die 2018 erschienene Office 2019 Version, die bereits im Zuge des ECDL geprüft wird, noch nicht empfohlen wird.³⁴ Als eventuelle Lichtblicke dürfen die drei aktuell neu entwickelten Module „Robotics“, „Artificial Intelligence“ und „VWA“ der ECDL Austria gesehen werden, sofern diese Bereiche in den kommenden Jahren vielleicht auch in die Lehrbuchempfehlung aufgenommen werden.³⁵ Die zwölf verbleibenden Werke, welche im Zuge der Schulbuchaktion zu kaufen waren, sind, bis auf zwei Ausnahmen, ebenso allesamt themenspezifisch und behandeln Inhalte, die sich im ECDL wiederfinden. Keineswegs soll der ECDL an dieser Stelle in ein negatives Licht gerückt werden, eine umfangreichere konzeptorientiertere Auswahl wäre allerdings durchaus wünschenswert, vor allem in Hinblick auf Alternativen zu Microsoft Office, das bereits im Rahmen der Digitalen Grundbildung vermittelt wird.

Dennoch, Lehrbuchempfehlungen bleiben nach wie vor unverbindliche Empfehlungen, sodass diese für die Vermittlung des Themas der intelligenten Systeme in der Theorie wenig Auswirkung besitzen. Auf der Suche nach nun angemessenen möglichen Lehrempfehlungen wurden nun, unter Bezugnahme der obig geschilderten beiden „Ausnahmen“, zehn weitere Schulbücher aus einem besonders großzügigen Veröffentlichungsbereich herangezogen und diese auf die Behandlung der künstliche Intelligenz als zu unterrichtendes Thema begutachtet:

- REITERSTOFER, GERHARD; KASPER, ADOLF; BÖHM, JOSEPH; SCHUH, BERNHARD (1985): *Grundzüge der Informatik. Für die fünfte Klasse der allgemeinbildenden höheren Schulen*. Wien: Manzsche Verlags- und Universitätsbuchhandlung.
- ANZBÖCK, FRIEDRICH; MATHUBER, ALF; PROWAZNIK, BRUNO; REITER, ANTON; WÖHRL, MANFRED (1985): *Informatik 5. Klasse AHS*. Wien: Bohmann Verlag.
- PEC, GERHARD (1994): *Informatik und angewandte EDV*. Wien: Dorner.
- TITTLER, LYDIA; HEINISCH, BERNHARD (1998): *Informatik aktiv*. 3. überarbeitete Auflage. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- SCHUH, BERNHARD; DONHAUSER, PETER; KROH, ANTON; LEDERBAUER, ERNST; STAPPLER, SONJA; WERDENICH, CHRISTINE (2002): *Grundzüge der Informatik II. Für die sechste und siebente Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen*. 7. Auflage. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- KALTOFEN, LEO; HAIDER, ANDREA; MARIK, GABRIELE (2005): *Informatik und angewandte Informatik*. 3 FW. 1. Auflage. Linz: Trauner Verlag.
- FASCHING, JOSEF; KOPEINIGG, CHRISTINE; MADRITSCH, REINHOLD; MICHEUZ, PETER; PERGER, PAUL; SIMA, KURT; STEINTHALER, GERT (2010): *it.basics. Informations- und Kommunikationstechnologie*. Wien: Westermann.

³⁴ Vgl. <https://www.microsoft.com/de-at/windows/windows-7-end-of-life-support-information> (aufgerufen am 25.02.2021)

³⁵ Vgl. <https://edu.ecdl.at/module-schule> (aufgerufen am 25.02.2021)

- SCHUH, BERNHARD; FLECK, PETER; KROH, ANTON (2012): *Informatik Grundzüge. Begriffe, Grundlagen, Prinzipien*. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- BÄR, RALF; BISCHOFBERGER, GERHARD; DEHLER, ELMAR; HAMMER, NIKOLAI; SCHIEMANN, BERND; WOLF, THOMAS (2017): *Informatik und Informationstechnik für Gymnasien und höhere Bildungsgänge im beruflichen Schulwesen*. 3. Auflage. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.
- SCHUH, BERNHARD; KROH, ANTON; LEDERBAUER, ERNST; FLECK, PETER; HORNY, CHRISTIAN (2017): *Informatik Grundzüge: Begriffe, Grundlagen, Prinzipien*. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.

144

WIR ÜBERARBEITEN TEXTE

 352

Versucht im Gespräch mit eurem Lehrer bzw. eurer Lehrerin zu erarbeiten, wie die Rechtschreibprüfung arbeitet und bei welcher Art von Fehlern sie euch helfen kann! Findet heraus, ob euer Wörterbuch „lernfähig“ ist, d. h., ob ihr neue Wörter eingeben könnt! – Was kann geschehen, wenn ihr falsch geschriebene Wörter eingibt?

Thesaurus

Bei der Verwendung eines **Synonymwörterbuches (Thesaurus)** wird für einen Begriff ein anderer angeboten, der jedoch die gleiche oder zumindest eine ähnliche Bedeutung hat. Dieser Begriff kann auf Wunsch in den Text übernommen werden. Synonyme sind z. B.:

Computer – Rechner – Elektronengehirn

effizient – wirkungsvoll – zugkräftig

Schule – Bildungsanstalt – Erziehungsstätte – Lehranstalt

 353

Finde für die Worte aus TEXT34 Synonyme! Du kannst mit oder ohne Thesaurus arbeiten und auch Nachschlagwerke und Wörterbücher verwenden!

Hilfen wie Rechtschreibprogramm und Thesaurus lassen eine gewisse **Künstliche Intelligenz** des Computers („Der findet meine Tippfehler!“) vermuten. Die folgenden Texte geben dir einen Einblick in die Möglichkeiten eines Computers:

KI in der Fabrik

Expertensystemen beobachten z. B. einen Werkmeister und speichern, welche Entscheidungen in welcher Situation getroffen werden. Dabei versucht das System, diese „Beobachtungen“ zu bewerten, damit es in der Folge den Werkmeister beraten kann. „Ihre Idee ist gut, aber sie haben vor einem Jahr eine andere Entscheidung gewählt!“

KI in der Medizin

Expertensysteme im Bereich der ärztlichen Diagnose geben aufgrund des eingegebenen Krankheitsbildes Diagnose- und Behandlungsvorschläge. Dabei übertrifft ein derartiges System den Arzt vor allem bei Diagnosen eher seltener Krankheitsbilder. Die Verantwortung für die Entscheidung, welche Behandlung tatsächlich durchgeführt wird, trifft anschließend der Arzt.

Bildererkennung

Für Computer sind Bilder zunächst nur eine Anordnung von Bildpunkten. Um Bilder elektronisch auswerten zu können, muss der Computer „lernen“, bestimmte Muster zu erkennen.

Robotik

Roboter (siehe auch Seite 138) sind mit Sensoren ausgestattet, um mit der Umwelt zu kommunizieren (z. B. Fotozellen, Kameras, Temperaturfühler, Greifarme). Es gibt Robotersysteme, die so intelligent sind, dass sie z. B. aus einer Kiste ungeordneter Einzelteile das für die Produktion wichtige Element herausnehmen können.

³⁶ Herzlichen Dank sei der Manz Verlag GmbH ausgesprochen, welche die Einbettung dieser Übungsseiten an dieser Stelle freundlicherweise gestattet.

Texte“ (siehe beide nebenstehende Grafiken) werden nicht nur Funktionen des damals aktuellen Microsoft Word 97 beschrieben, welche intelligent handeln, sondern auch die künstliche Intelligenz als solche. Eine abschließende Übung lädt im Anschluss dazu ein, mehrere gelistete Tätigkeiten zu bewerten, ob jene von einem Computer durchgeführt werden können und welches Maß an Intelligenz hierfür erforderlich ist. Das Kapitel ist zugegebenermaßen nicht besonders lang, in Anbetracht der Konzipierung aller übrigen Lernmodule jedoch auch keineswegs kurz. Positiv ist weiters hervorzuheben, dass die Inhalte der beiden Seiten besonders umfangreiche

Möglichkeiten einer intensiveren Behandlung mit dem Thema erlauben, sodass dieses Werk, vor allem in Hinblick auf das Fehlen vergleichbarer Kapitel in allen anderen begutachteten Lehrbüchern, sehr erfreut.

145

WIR ÜBERARBEITEN TEXTE

Entscheidungs-träger Mensch

Die letzte Entscheidung bei der Nutzung solcher Systeme liegt **derzeit** beim Menschen. Viele KI-Forscher (Künstliche Intelligenz) glauben jedoch, dass die Verantwortung noch weiter in Richtung Computer verlagert werden kann. Dadurch könnte im Bereich der Verwaltung und Produktion der Anteil der Bevölkerung, die in diesen Bereichen tätig ist, weiter sinken.

Kreuze in der Liste an, welche Dinge von einem Computerprogramm erledigt werden können! Trage ein, ob die angegebene Tätigkeit sehr viel (v), durchschnittlich (d), wenig (w) oder keine (k) Intelligenz erfordert! Besprecht anschließend eure Listen und eure Vorstellung von Intelligenz!

Tätigkeit	Kann man mit einem Computer	Intelligenz
Texte schreiben	☐	_____
Bilder malen	☐	_____
Telefonieren	☐	_____
Schwimmen lernen	☐	_____
Schach spielen	☐	_____
Mathe-Aufgabe rechnen	☐	_____
Kinder erziehen	☐	_____
Wetter vorhersagen	☐	_____
Daten darstellen	☐	_____
Daten verwalten	☐	_____
Sich freuen	☐	_____
Serienbriefe schreiben	☐	_____
Musik hören	☐	_____
Musik machen	☐	_____
Etiketten drucken	☐	_____
Tür öffnen	☐	_____

Abbildung 6: KI in Schulbüchern, Beispiel 2

4.2. Weitere Unterrichtsstützen über „künstliche Intelligenz“

Da die bisher analysierte Auswahl an möglichen Vorschlägen in Bezug auf die Vermittlung des Themas der künstlichen Intelligenz nun wenig Auswahl bot, zumindest hinsichtlich der gelisteten Werke im Rahmen der österreichischen Schulbuchaktion, aber auch nach der Durchsicht einiger anderer Lehrwerke, wollen wir schließlich das Internet um mögliche Umsetzungsstützen bemühen. Im Zuge einer Internetrecherche fällt zunächst auf, dass Österreich in Hinblick auf sogenannte „Bildungsserver“ oder entsprechende Plattformen, die Unterrichtsmaterialien zur Verfügung stellen, wenig Angebote bereithält. Auf den Webseiten „schule.at“ sowie das bereits angesprochene „digikomp.at“, die vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung betrieben werden, finden sich leider keinerlei Materialien des gesuchten Themenbereichs, sodass auch in an

dieser Stelle eine eigenständige Initiative erforderlich ist. Im Folgenden seien nun einige interessante Quellen näher beleuchtet:

4.2.1. Edutube

Im April 2020 wurde, vor allem aufgrund der Corona-Pandemie und des damit verbundenen „Lockdowns“, die Bildungsmedienplattform „edutube.at“ in Betrieb genommen, welche zahlreiche Kurz-/filme für Schüler und Schülerinnen sowie Lehrpersonal anbietet, die in den letzten Jahren im Auftrag des Österreichischen Rundfunk produziert wurden. Fündig wird man hier auch in Bezug auf die Thematik der künstlichen Intelligenz, so gibt es beispielsweise den 2012 erstellten, fast einstündigen Film „Als die künstliche Intelligenz laufen lernte – Die Geschichte und Entwicklung der Robotik und Mechatronik“³⁷ oder kurze, rund fünfminütige Beiträge wie „Künstliche Intelligenz in der Medizin“³⁸ aus dem Jahr 2019. Aufgrund der fehlenden Methodenvielfalt eignet sich die ausschließliche Nutzung der Plattform keineswegs, sei allerdings der Vollständigkeit halber aufgrund des staatlich konzipierten Angebots genannt. Durchaus könnten sich jedoch Ausschnitte diverser Kurz-/filme für die ein oder andere Gelegenheit anbieten.

4.2.2. Wissenschaftsjahr 2019 – künstliche Intelligenz: „Mensch, Maschine!“

Ein in Deutschland durch das BMBF³⁹ konzipiertes Konzept, um „das für die Allgemeinheit noch diffuse Thema [...] in den breiten gesellschaftlichen Dialog zu tragen.“ (Buchkremer et al. 2020: S. VII), war das Wissenschaftsjahr 2019, das sich dem Thema der künstlichen Intelligenz annahm. Darunter ist nun vor allem die Jugendaktion „Mensch, Maschine!“ zu erwähnen, welche für diesen Zweck mehrere Lehr- und Arbeitsmaterialien, wie ein knapp 80-seitiges Themenheft bereitgestellt hat, das sechs unterschiedliche Module behandelt und den Lernenden Einblick in die Disziplin der KI gewährt.⁴⁰ Das erste Modul zum Beispiel gliedert sich in drei Abschnitte und bietet vor allem einen grundlegenden Einstieg, sodass Fragen im Fokus stehen, in welchen Bereichen eine KI eingesetzt werden kann oder wie diese das alltägliche Leben bereits beeinflusst. Als selbst zu erfahrendes Beispiel wird eine Übung vorgeschlagen, in welcher die Jugendlichen im Internet nach gewissen Produkten suchen und anschließend, durch das Aufrufen von spezifischen Nachrichtenseiten, auf das Thema der Drittanbietercookies aufmerksam gemacht werden sollen. In einer ähnlichen

³⁷ Produktion: Extrafilm GmbH Filmproduktion im Auftrag von ORF und BMUKK, 2012

³⁸ Konkret, ORF, 06.09.2019

³⁹ Bundesministerium für Bildung und Forschung

⁴⁰ Vgl. <https://www.wissenschaftsjahr.de/2019/jugendaktion/> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Komplexität sind auch die übrigen Kapitel konzipiert. Als Kernthema des Aufgabenheftes wird das mit der Aktion gleichnamige Brettspiel angeführt, bei welchem im Idealfall fünf Jugendliche teilnehmen und das den Lernprozess im Sinne des maschinellen Lernens oberflächlich veranschaulicht. Konkret wird auf einem 3×3 großen Spielbrett Bauernschach gespielt, wobei drei Lernende die Maschine repräsentieren und je nach zugbedingter Konstellation der Spielfiguren eine Karte aus einem entsprechend passenden Stapel ziehen, die den durchzuführenden nächsten Spielzug der „KI“ vorschreibt. Bei einer Niederlage werden diese Karten aus dem Spiel genommen, sodass mit mehrmaligem Spielen der Erfolg der Maschine zunehmend ansteigt und diese somit „lernt“. Die übrigen Module beschäftigen sich mit Chatbots, der Entwicklung der künstlichen Intelligenz und gesellschaftlichen Aspekten. Das Angebot ist durchwegs erfreulich, eignet sich allerdings nicht ideal für die direkte Anwendung im Informatikunterricht an einer AHS, da leider konkrete Konzepte im Hintergrund bleiben und der Fokus sehr anwendungsbezogen ist – auch scheint die angestrebte Zielgruppe jünger angesetzt zu sein. Wenngleich sich der Begriff des maschinellen Lernens 29 Mal in dem Themenheft wiederfindet, werden die unterschiedlichen Lernformen nur als Exkurs für Fortgeschrittene, vor allem Lehrpersonen, thematisiert. Ebenso findet beispielsweise die Bezeichnung der Heuristik keine einzige Erwähnung, sodass sich die zuvor von Seegerer erwähnte Kritik leider auch für dieses Projekt bewahrheitet – als Anregung kann das Dokument jedoch durchaus dienlich sein (vgl. Seegerer et al. S. 327).

4.2.3. Elements of AI

Ein wesentlich konzeptorientierteres Modell verfolgt die im Frühjahr 2018 von einem finnischen Unternehmen in Zusammenarbeit mit der Universität Helsinki ins Leben gerufene Plattform elementsofai.com, welche die Möglichkeit bietet, eigenständig im Zuge zweier Onlinekurse Kompetenzen im Bereich der KI aufzubauen. Konkret gliedern sich diese in einen auch ins Deutsche übersetzten Kurs „Einführung in die KI“ und dem aktuell ausschließlich englischen Teil „Building AI“, die beide jeweils aus mehreren Unterkapiteln bestehen. Das Bestreben, die Grundlagen der KI an möglichst viele Menschen zu vermitteln, entwickelte sich zu einem internationalen Projekt mit bereits mehr als 620.000 Teilnehmern und Teilnehmerinnen aus über 170 Ländern. Die Inhalte der Kapitel werden den Erwartungen, welche man aufgrund des Mitwirkens der Hochschule zu hoffen pflegt, definitiv gerecht und dürften zum Teil womöglich auch denselben Quellen entspringen, wie das in dieser Arbeit behandelte Kapitel über die Entwicklung der KI. Die Einführung besteht aus den Modulen „Was ist KI?“, „Probleme lösen mit KI“, „Reale Anwendungen“, „Maschinelles Lernen“, „Neuronale Netze“ und „Auswirkungen“ und untergliedert diese jeweils in drei weitere Abschnitte

mit in Summe 25 praktischen Übungen. Das vierte Kapitel beispielsweise behandelt den MNIST-Datensatz, die unterschiedlichen Lernformen des maschinellen Lernens, die Überanpassung sowie die lineare Regression und ein distanzbasiertes Klassifikationsverfahren. Als einige Inhalte der anderen Kapitel seien neuronale Netze samt deren Aufbau, probabilistische Schlussfolgerungsverfahren (Satz von Bayes), aber auch Graphen und der Minimax-Algorithmus, welcher wie bei Luger mit dem Tic-Tac-Toe Spiel veranschaulicht wird (vgl. Luger 2001, S. 170-175) genannt.

Eine Erweiterung stellt der bisher nur in englischer Sprache verfügbare zweite Kurs dar, welcher sich aus den Modulen „Getting started with AI“, „Dealing with uncertainty“, „Machine learning“, „Neural networks“ und „Conclusion“ zusammensetzt. Die Besonderheit dieses zweiten Abschnittes ist die Möglichkeit, praktische Übungen in drei Schwierigkeitsstufen zu absolvieren, welche auf der einfachsten Stufe keine Programmierkenntnisse voraussetzen und in der dritten Stufe bereits mäßige Kenntnisse in Python erfordern. Die meisten theoretischen Inhalte sind nun jenen des ersten des Einführungskurses sehr ähnlich, widmen sich nun jedoch spezifisch den praktischen Umsetzungen. Besonders von Vorteil ist die Möglichkeit, alle diese Aktivitäten direkt im jeweiligen durch JavaScript eingebundenen Bereich im Browser durchzuführen, sodass selbst bei der Programmierung mit Python keine lokalen Installationen notwendig sind.

Da die Kurse für das selbstständige Lernen konzipiert sind, eignen sich diese für einen gemeinschaftlichen Unterricht nur bedingt, können aber eine wunderbare Unterstützung darstellen. Da man nach der Absolvierung der beiden Inhalte die Möglichkeit besitzt, ein kostenpflichtiges Zertifikat zu erwerben sowie zwei ETCS an der Universität Helsinki angerechnet zu bekommen, gibt es leider keine Möglichkeit, bereits bestätigte Antworten bei diversen Übungen zurückzunehmen, um diese zu wiederholen oder zu korrigieren, sodass jedem Nutzer nur ein Versuch gestattet ist. Insbesondere aus diesem Grund sollten die Inhalte daher idealerweise gemeinsam erarbeitet werden.

4.2.4. Machine Learning for Kids

Die Website machinelearningforkids.co.uk wurde von einem Entwickler des IBM ins Leben gerufen und widmet sich nun voll und ganz dem maschinellen Lernen, welches auf einer sehr anwendungsbasierten Weboberfläche sehr spielerisch erkundet werden kann. Sofern man die Plattform nicht nur kurz testen möchte, ist eine Registrierung einer Lehrperson sowohl auf dieser Website, aber auch auf der IBM Cloud notwendig, um anschließend Modelle trainieren zu können. Praktisch ist die Anmeldung insofern, als man dadurch Accounts für die Schülerinnen und Schüler

anlegen kann und somit, sofern man nicht gar ein Klassenprojekt für eine gemeinsame Bearbeitung erstellt, Einsicht auf alle Projekte erhält und diese global verwalten kann. Unterstützt werden Eingaben in Form von Texten, Bildern, Zahlen und Tönen, welche von Benutzern und Benutzerinnen zu klassifizieren sind und dann damit ein neuronales Netz trainiert werden kann. Dieses kann anschließend über „Scratch“, mittels Python oder dem „App Inventor“ verwendet werden. Als mögliche Vorschläge werden auf der Plattform aktuell 38 Projekte samt detaillierter Anleitung vorgestellt, die von Chatbots, über automatische Kaufempfehlungssysteme zu Spielen wie Schwere, Stein, Papier oder Tic-Tac-Toe reichen. Wenngleich der Name der Adresse grundsätzlich eine jüngere Zielgruppe adressiert, so können durchaus komplexere Themen in relativ kurzer Zeit wunderbar bearbeitet werden und so ein Verständnis für neuronale Netze geschaffen werden. So zum Beispiel ist es während der Laufzeit des Programms auch möglich, generierte Testdaten über die Schnittstelle an das Netz zu übermitteln und dieses mit anschließendem Training zu optimieren. Jedem Modell steht außerdem eine sich aktuell noch in einer beta Version befindliche Beschreibung zur Verfügung, die das tatsächliche neuronale Netz mit all seinen Schichten, Gewichtungen und Berechnungen anhand der konkret implementierten Beispiele veranschaulicht. Dieser Bereich erfordert zum aktuellen Zeitpunkt eine umfassende zusätzliche Erklärung seitens einer Lehrperson, ist allerdings dennoch sehr empfehlenswert, zumal das neuronale Netz, ohne jedes einzelne Neuron durch Programmcode abgebildet haben zu müssen, damit sehr einfach erfahren werden kann.

4.2.5. AI Unplugged – Wir ziehen künstlicher Intelligenz den Stecker

Eine ursprünglich sogar in einer kleinen Anzahl von 1000 Stück gedruckte Broschüre, welche nun über aiunplugged.org abrufbar ist, stellt die Sammlung „Ai Unplugged – Wir ziehen künstlicher Intelligenz den Stecker“ dar. Diese beinhaltet fünf sehr spielorientierte Übungen über Klassifikationen mit Entscheidungsbäumen, Expertensysteme, den Turing-Test sowie die Lernvarianten im Zuge des maschinellen Lernens. Das Themenheft, welches in mehreren Sprachen verfügbar ist und auf der Plattform durch Spielunterlagen ergänzt wird, richtet sich neben der Primarstufe zwar auch an die Sekundarstufen I und II, orientiert sich in Summe jedoch eher an einen jüngeren Personenkreis und ist für Maturaklassen kaum mehr eine umfangreiche Alternative. Neben der bereits im Zuge des Projekts „Mensch, Maschine!“ geschilderten bauernschachähnlichen Partie, die wohl aus diesem Heft entnommen worden sein könnte, veranschaulicht ein anderes Spiel die Strukturen eines neuronalen Netzes: Zunächst werden die Schülerinnen und Schüler in drei Gruppen unterteilt. Während nun eine dieser Gruppen schnelle Skizzen von Bildern anzufertigen hat, die von der Lehrperson übergeben wurden, versucht ein anderes Team konkrete geometrische

Informationen aus diesen raschen Zeichnungen zu extrahieren – dies könnten runde, dreieckige oder viereckige Formen sein. Die übrigen Schüler und Schülerinnen haben im Anschluss die Aufgabe, diese Informationen über die vorhandenen Strukturen zu verarbeiten, um festzustellen, ob das ursprüngliche Bild eine Katze, ein Haus oder ein Auto gezeigt haben könnte. Mittels Adaptionen im Hidden Layer (Gruppe 2), aber auch durch Inputs völlig fremder Kategorien soll somit der Aufbau und die Funktionsweise eines neuronalen Netzes veranschaulicht werden. Für jüngere Schulstufen kann diese Zusammenstellung somit überaus bereichernd sein.

4.2.6. Neuronale Netze programmieren mit Python

Ein weiteres Lehrwerk, welches erneut hauptsächlich in gedruckter Version im Handel erhältlich ist, ist „Neuronale Netze programmieren mit Python“, das erstmalig 2019 veröffentlicht wurde und bereits im Jänner 2020 durch eine zweite, aktualisierte und überarbeitete Auflage ersetzt wurde. Das 480 Seiten umfangreiche Buch wurde zwar nicht für einen Schulunterricht konzipiert, stellt allerdings in 13 Kapiteln alle wichtigen konzeptuellen und anwendungsbasierten Grundlagen über neuronale Netze zur Verfügung. Hierfür ist das Werk in zwei Teile unterteilt. Der erste veranschaulicht praxisbezogen welche verschiedenen neuronalen Ansätze bestehen, wie diese funktionieren und schließlich auch Schritt für Schritt in Programmcodem umgesetzt werden können. Der zweite Teil erweitert Hintergründe und Zusammenhänge, beschäftigt sich somit auch mit der historischen Entwicklung, biologischen Vergleichen, Netzarten und zahlreichen Algorithmen, die für Lernprozesse Anwendung finden können. Sehr hilfreich können auch drei eigens aufbereitete Anhänge sein, eine 29-seitige Einführung in die Programmiersprache Python, ein 21-seitiger Basiskurs über mathematisch notwendige Grundlagen sowie elf Seiten über TensorFlow 2 und Keras, zwei der aktuell bedeutendsten Programmbibliotheken für neuronale Netze. Erfreulich ist zudem die lernförderliche Aufbereitung aller Inhalte, denn die Texte sind einfach formuliert, wichtige Stellen einprägsam formatiert und zudem durch vielzählige farbige Graphiken unterstützt. Das Lehrwerk bietet sich in Summe daher vor allem für Lehrkräfte an, um sich mit dem Thema vertraut zu machen, Kenntnisse aufzubauen und diese für den eigenen Unterricht nutzen zu können. (vgl. Steinwendner 2020)

4.2.7. EDRLIS

Ein völlig anderes Modell stellt die vom 01.01.2017 bis zum 31.05.2020 angebotene Fortbildungsmöglichkeit „European Driving License for Robots and Intelligent Systems“ dar, die durch die Österreichische Computer Gesellschaft in Kooperation mit einigen Universitäten angeboten wurde.⁴¹ Dieses sich sehr stark an das Konzept des ECDL orientierte Seminar „widmet[e] sich der Entwicklung und Umsetzung eines professionellen, standardisierten, international anerkannten Ausbildungs- und Zertifizierungssystems für Robotik und KI und untergliederte sich daher auch in die beiden Hauptmodule „KI“ und „Robotik“, die sich jeweils außerdem aus einem „Basis“ und einen „Advanced“ Kurs zusammensetzten.⁴² Die vier Einzelmodule, welche unabhängig voneinander absolviert werden konnten, wurden neben Mitteln aus dem „European Regional Development Fund“ auch aus nationalen Budgets finanziert und waren für Lehrpersonen kostenlos. Da die Rückmeldungen der Teilnehmer und Teilnehmerinnen durchwegs positiv waren, gibt es nun auch das Bestreben dieses Angebot zukünftig weiterhin fortzusetzen.⁴³ User, die sich auf der Onlineplattform nach wie vor registrieren können, stehen zum aktuellen Zeitpunkt neben einem eigenständigen, sich im Aufbau befindlichen Robotik-Basiskurs zum eigenständigen Lernen, auch die Inhalte des aufgrund der Covid-19-Pandemie online stattgefundenen Basiskurses aus dem Frühjahr 2020 zur Verfügung. Die Zielgruppen des Kurses waren nicht nur interessierte MIND Lehrer und Lehrerinnen, sondern auch Schülerinnen und Schüler, wobei sich die Inhalte, je nach tatsächlicher Teilnehmergruppe, entsprechend leicht unterschieden haben dürften. Vor allem für Trainer und Trainerinnen wurden beispielsweise ergänzende lerntheoretische und didaktische Lernziele festgelegt. Der damals viertägige Basiskurs, dessen Unterlagen wie erwähnt auch nach wie vor abgerufen werden können, bot Grundlagen zu KI Definitionen, der Verarbeitung natürlicher Sprachen, Logik, Ethik, maschinelles Sehen/Lernen, Datenstrukturen und dem Problemlösen durch Suche an. Die Inhalte selbst waren für Teilnehmer und Teilnehmerinnen, welche keine Vorkenntnisse bedurften, entsprechend adäquat, doch keinesfalls zu allgemein, so zum Beispiel auch eine grundlegende Einführung in die Programmiersprache Python geboten wurde, um ein kleines Pacman-Spiel zu adaptieren. Auch wurden didaktische Aufbereitungen zur Vermittlung der Tiefen- oder Breitensuche, logischen Schlussfolgerungssystemen oder einem neuronalen Netzaufbau samt Input-, Hidden-, und Outputlayer bereitgestellt. Der Kurs „Advanced“, welcher viele Inhalte nun nur noch in englischer Sprache bereithielt, erstreckte sich über fünf Tage und

⁴¹ Vgl. <https://www.ocg.at/de/edrlis> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

⁴² Besten Dank sei an dieser Stelle der OCG ausgesprochen, welche dem Autor auch nach Ablauf des Projekts vollständigen Zugriff auf beide KI Module gewährte.

⁴³ Vgl. <https://edrlis.ist.tugraz.at> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

intensivierte die Kenntnisse in Python, aber auch im Bereich der Logik, der linearen Algebra, der Graphen und neuronalen Netzwerken. Durch zahlreiche Übungen erlangten die Lernenden eine sehr solide Ausbildung und können nun sämtliche Unterlagen, sofern die Urheber natürlich korrekt angeführt werden, auch für den eigenen Unterricht heranziehen und adaptieren.⁴⁴ Sofern die Kurse in der Zukunft tatsächlich erneut wieder angeboten werden, so sind diese sehr zu empfehlen.

4.2.8. Weitere nützliche Lehrwerke, Plattformen und Links

Im Rahmen dieses letzten Punktes sollen nun noch einige weitere nützliche Angebote gelistet werden, welche, obwohl diese nun nicht mehr ausführlich behandelt werden, dennoch sehr zu empfehlen sind:

- STEIN, WALTER (2019): *Künstliche Intelligenz: Eine Einführung für den Schulunterricht mit Programmbeispielen*
Dieses Lehrwerk wurde aufgrund des in 4.2.6. beschriebenen Lehrbuchs nicht im Detail erläutert, begeistert jedoch sehr. Leider scheinen nicht mehr alle Programmbeispiele 1:1 zu funktionieren, sodass zum Teil einige Adaptionen notwendig sein werden. Nicht zuletzt aufgrund zahlreicher weiterführender Links handelt es sich um eine sehr wertvolle Zusammenstellung.⁴⁵
- <https://www.cs.ryerson.ca/~aharley/vis/conv/>
Diese Website veranschaulicht die Hidden Layer eines neuronalen Netzes mit allen Rechenschritten (durch Klick auf die jeweiligen Neuronen).
- <http://playground.tensorflow.org>
Ein ähnliches Konzept für neuronale Netze verfolgt diese Plattform, welche nun auch eine gezielte Konzeption der Netzstruktur und des Trainings erlaubt.
- <https://atozofai.withgoogle.com>
Eine nette, kleine Plattform mit sehr einfachen Beschreibungen themenrelevanter Begrifflichkeiten
- <https://experiments.withgoogle.com/collection/ai>
Eine Sammlung zahlreicher interessanter Tools, die einen Bezug zu künstlicher Intelligenz haben
- <https://teachablemachine.withgoogle.com/train/>

⁴⁴ Vgl. <https://onlinecampus-server.at/edlris/> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

⁴⁵ Das Werk kann unter steinphysik.de/kuenstliche-intelligenz aufgerufen werden. Spenden ergehen an die Begabtenförderung am St. Michael-Gymnasium in Bad Münstereifel (Deutschland)

Hier stellt Google die Möglichkeit zur Verfügung, ein neuronales Netz anhand von Bild-, Audio- und Videodateien zu erstellen, zu trainieren und anschließend zu nutzen.

- https://www.swisseduc.ch/informatik/diskrete_mathematik/backtracking/index.html
Etwas ältere Unterrichtsunterlagen, die Backtracking mit Heuristiken behandeln.
- https://www.swisseduc.ch/informatik/theoretische_informatik/kuenstliche_intelligenz/
Auch hierbei handelt es sich um ältere Unterlagen, die allerdings auch Heuristiken recht interessant für Schüler und Schülerinnen beleuchten.

- <https://www.moralmachine.net>
Diese Seite ist vor allem für den gesellschaftlichen Aspekt der KI sehr spannend, da in 13 Situationen entschieden werden muss, welchen Personenkreis ein selbstfahrendes Auto tödlich verletzen soll, wenn ein Ausweichen nicht mehr möglich ist. Auch wird am Ende das durchschnittliche Ergebnis aller bisherigen Teilnehmer gezeigt.

4.3. Bewertung der aktuellen Situation

Vermag man nun die bisherigen Erkenntnisse dieses Kapitels zu reflektieren, so lässt sich feststellen, dass die Vermittlung des Bereichs der künstlichen Intelligenz im Rahmen des schulischen Informatikunterrichts an den AHS keineswegs ein einfaches Unterfangen darstellt. Wenngleich die Thematik aktueller denn je zu sein scheint, erfordert es ausgesprochen umfangreiches und individuelles Engagement der Lehrpersonen selbst, um dieses außergewöhnlich große, vielseitige und komplexe Themengebiet für Schülerinnen und Schüler zu erschließen und adäquat für einen interessanten und lehrreichen Unterricht aufzubereiten. Obwohl das österreichische Bildungsministerium zahlreiche unterschiedliche Angebote für Lehrbücher für den Informatikunterricht zur Verfügung stellt, beschäftigen sich jene lediglich mit einem kleinen Teil des tatsächlich laut Lehrplan zu unterrichtenden Inhaltsspektrums. Keines der dort gelisteten Schulbücher widmet sich der Disziplin intelligenter Systeme, wenngleich, und dies muss fairerweise festgehalten werden, die Möglichkeiten hierfür auch enorm beschränkt sind, sodass selbst im Rahmen der nun durchgeführten Recherche kein idealer Vorschlag genannt werden kann. Vor allem das Unterrichtsfach Informatik, im Gegenzug zu den meisten anderen Schulfächern, ist mit sich stets ändernden Inhalten konfrontiert, sodass kaum Lehrwerke über mehrere Jahre hinweg uneingeschränkte Gültigkeit besitzen können. Wenngleich diese daher, sofern man einer laufenden Aktualisierung nur wenig Beachtung schenkt, lediglich eine Stütze bieten können, wäre eine solche

besonders für dieses Lehrfach ungemein wichtig, nicht nur um die Professionalität der inhaltlich vermittelten Kompetenzen zu wahren – denn wohl kaum in einem anderen Unterrichtsfach ist eine derart umfangreiche Umsetzungsvielfalt vorhanden, wie in der Informatik – sondern auch, um das Interesse am Lehrberuf zu stärken und zu halten. Im Rahmen eines vom Autor dieser Arbeit durchgeführten Interviews im Zuge einer Proseminararbeit im Jahr 2014, welches unter anderem die Berufssituation reflektierte, wurde seitens einer Lehrperson kund getan, dass es an deren Standort häufig vorkäme, dass sich Lehrer und Lehrerinnen des Unterrichtsfachs Informatik früher oder später anderen Unterrichtsfächern widmen, um den laufenden Änderungen zu entfliehen.⁴⁶ Keineswegs deutet derartiges Verhalten nun im Generellen auf eine engagierte und motivierte Lehrperson hin, sodass derartige Entscheidungen, sofern man sich nun ausschließlich auf die Informatik bezieht, nicht unbedingt negativ sein müssten, doch sollten die dafür zum Teil auch extra neu begonnenen Studien zu denken geben. Beweis dieser Dynamik des Fachbereichs stellen die zuvor behandelten Unterrichtsmaterialien und Unterrichtsstützen dar, beispielsweise die Erscheinung einer neuen Auflage von „Neuronale Netze programmieren mit Python“ nach nur einem Jahr. Trotz der geringen Anzahl an veröffentlichten Unterrichtskonzepten bietet der Bereich der künstlichen Intelligenz, wie bereits erwähnt, umfangreiche Möglichkeiten der Vermittlung an. Wünschenswert und wichtig wäre es, solche auch aufzuzeigen und Lehrpersonen zu unterstützen.

⁴⁶ PS Pädagogische Professionalität im Kontext von Schule (SS 2014) – „Eine Analyse des durch digitale Medien begleitenden Schulunterrichts, eine Reflexion der Berufsentscheidung, ein Fazit zur Forumdiskussion und eine Reflexion zur Lehrveranstaltung.“

5. Darstellung eines möglichen Unterrichtsthemas

Der schließlich letzte Teil dieser Arbeit möchte sich aus den soeben genannten Gründen nun noch der Behandlung eines konkreten Themas für die Vermittlung im schulischen Informatikunterricht widmen.

Wenngleich der Fokus bisher hauptsächlich auf den AHS-Bereich gerichtet war und auch die folgenden Ausführungen in erster Linie hierfür konzipiert sind, so können jene mit Sicherheit auch in zahlreichen anderen Schulformen angewandt werden. Aus diesem Grund, aber auch aufgrund der Tatsache, dass es jedem Schulstandort nach wie vor freisteht, Schwerpunkte in unterschiedlichen Bereichen zu setzen und den Lehrplan individuell umzusetzen – dies äußert sich bereits bei der Wahl unterschiedlicher Programmiersprachen – wird nicht nur darauf verzichtet, minutiös geplante Stundenbilder zu entwerfen, sondern auch eine Zuweisung der Inhalte zu konkreten Schulstufen bleibt aus, sodass für möglichst viele eine einfache Adaption der Themen an den jeweiligen Unterricht erfolgen kann.

Wie bereits im Kapitel 3.8. erläutert, fand der dort genannte Bereich „Sprache“ bisher keinerlei Raum für eine intensivere Behandlung. Da jener allerdings einen besonders breiten Forschungs- und Anwendungsbereich innerhalb der KI darstellt, sei die Auswahl des Themas somit auf diesen getroffen. Bevor wir uns nun konkret möglichen Unterrichtsinhalten widmen, sei zunächst eine theoretische Einführung in die Thematik der natürlichen Sprache geboten, denn kaum eine Lehrperson wird Inhalte gerne oder selbstsicher zu vermitteln vermögen, wenn selbst über kaum ausreichendes Hintergrundwissen verfügt wird.

5.1. Theoretische Einführung

Die meisten Leser und Leserinnen kennen vermutlich die Situation, ob nun bei der Verwendung einer Online-Suchmaschine, oder eines Messengers auf den mobilen Endgeräten: Bereits nach dem ersten eingegebenen Buchstaben scheinen zahlreiche, oftmals durchaus sinnvolle Vorschläge für die Vervollständigung des jeweiligen Wortes oder gar einer ganzen Phrase. So hilfreich derartige Funktionen, sofern man diese nutzt, auch sein können, was steckt dahinter? Wie funktionieren Suchmaschinen, wie die Spracherkennung? Nun, die Verarbeitung der natürlichen Sprache durch eine KI, man möge bloß an den Turingtest denken, ist ebenso alt und komplex wie der Fachbereich selbst. Die Herausforderungen begründen sich vor allem durch die mögliche Flexibilität der Verwendung der Sprache, in der eventuellen Mehrdeutigkeit und dem stetigen Sprachwandel an sich. Die Grammatik einer formalen Sprache im Gegensatz, die einer Programmiersprache zum Beispiel, ist fest durch erlaubte und nicht erlaubte Regeln definiert und ermöglicht keinerlei freien

Handlungsspielraum. Ein fehlender Operator im Code ersetzt die angestrebte Ausgabe durch klare Fehlermeldungen und jegliche Varianz, wie diese bei der gesprochenen Sprache ständig auftritt, wird ausnahmslos zurückgewiesen.

Widmen wir uns zunächst der Vorhersage von Teilen eines Wortes oder einer Phrase. Nicht zuletzt aufgrund des stetigen Wandels, dem die natürlichen Sprachen unterliegen, greift man in der Regel auf probabilistische Modelle zurück, um Voraussagen oder Analysen zu treffen. Konkret bedient man sich zumeist sogenannten n -Gramm-Modellen, wobei n die Anzahl jener Zeichen, Wörter oder Phrasen darstellt, welche als Folge analysiert werden. Die Wahrscheinlichkeit P wird daher im Beispiel eines 3-Gramm-Modells, auch Trigramm genannt, auf das für die vorangegangenen Zeichen oder Wörter die Kettenregel angewandt wurde, durch die folgende Markov-Kette der Ordnung 2 definiert:

$$P(c_{1:N}) = \prod_{i=1}^N P(c_i | c_{i-2:i-1})$$

Notwendig für derartige Evaluierungen ist stets eine Trainingsmenge, aus welcher die für die jeweiligen Sprachmodelle gesuchten Wahrscheinlichkeiten gebildet werden können. Aufgrund der Tatsache des hier nur stets abgeschlossen möglichen Korpus, aber auch des Faktors der bereits erwähnten Neologismen wegen, sind sogenannte Glättungen notwendig, sodass am Ende auch im Trainingskorpus gar nicht vorhandene Mengen Ergebnisse sein können. Praktisch gelöst wird dies in der Regel mittels Back-Off-Modellen, die für Möglichkeiten mit Wahrscheinlichkeitswerten gegen null einen Rechenschritt zurückgehen. Eine konkrete, erfolgreiche Variante ist beispielsweise die Glättung mit linearer Interpolation, welches das Mono-, Bi- und Trigramm kombiniert. Derartige Modellierungen sind vor allem im Bereich der Bestimmung von Textgenres, Rechtstexte als Beispiel genannt, oder einer natürlichen Sprache unter Einbezug des Satzes von Bayes sehr erfolgreich. Oftmals nehmen die A-priori-Wahrscheinlichkeiten der Sprachen hier sogar eine untergeordnete Relevanz für die finale Entscheidung ein, da bereits die Trefferwahrscheinlichkeit der Modelle selbst ausreichend hoch ist. Für die Bestimmung, welches der möglichen Systeme nun am besten für den Einzelfall geeignet ist, kann der zu bearbeitende Korpus erneut in einen Trainings- und Validierungskorpus eingeteilt werden und anschließend mittels des Wahrscheinlichkeitsmaßes einer Folge, der sogenannten Perplexität, analysiert werden. Neben den bereits genannten Verwendungszwecken dieser Kategorisierungen haben sich jene auch im Bereich der Spam- oder Boterkennung bewährt, im Zuge welcher ebenso andere unterschiedlichste Merkmale, wie beispielsweise die Satzzeichen- oder Großbuchstabenhäufigkeit, genauso wie Bilder oder Zeitdaten berücksichtigt werden, um den sogenannten „Ham“ vom Spam zu filtern. Eine andere Methodik der

Klassifizierung stellt die Komprimierung und ein anschließender Vergleich dieses Datenpakets mit anderen dar, denn auch diese sind sich durch häufig gleichartige Inhalte ähnlich. Dieser Bereich der Forschung ist folglich, nicht zuletzt auch aufgrund der Entwicklungen von sozialen Netzwerken, ständig im Fortschritt.

Erwähnenswert ist außerdem das Prinzip des Informationsabrufs diverser Suchmaschinen, welche aus Sätzen, Absätzen oder auch mehreren Seiten bestehende Korpora verarbeiten. Die Aufgaben dieser sogenannten IR-Systeme⁴⁷ umfassen nun nicht nur die Feststellung relevanter Inhalte durch eine passende Abfragesprache, sondern auch die am Ende übersichtlich aufzubereitende Darstellung der Ergebnismengen. Während zu Beginn der Entwicklungen hauptsächlich boolesche Suchbegriffe üblich waren, haben sich der Relevanz wegen mittlerweile eher andere Bewertungsmechanismen bewährt, die nun neben einer Gewichtung der gesuchten Wörter auch das Verhältnis der Häufigkeit des Vorkommens in Bezug zur Länge des jeweiligen Dokuments berücksichtigen. Die Gründe sind leicht nachzuvollziehen, denn zum einen besitzt ein vor dem Suchbegriff voranstehender grammatikalischer Artikel eher weniger Signifikanz, zum anderen ist auch die Wahrscheinlichkeit, das Suchwort in einem mehrere tausend Seiten umfassenden Textkorpus nur beiläufig erwähnt zu finden, höher, als in einem sehr kurzen Text. Natürlich bedient man sich zudem auch unterschiedlicher Algorithmen, wie dem Stemming-Algorithmus, der eine Transformation von Groß- und Kleinbuchstaben durchführt und somit, unter Einbezug von Synonymen, den Suchbegriff „KONFITÜRE“ zum Beispiel mit dem semantisch identen Wort „marmelade“ gleichstellt. Mittels angelegter Indizes und dem HITS-Algorithmus⁴⁸, der bedeutsame Websites als Autoritäten definiert und Indizierungen schließlich auf Basis entsprechend weiterer Internetadressen durchführt, die auf diese einflussreichen Plattformen verlinken, bildet sich so eine bewertete Menge an möglichen Suchergebnissen.

Auch das maschinelle Lesen, also die automatisierte Informationsextraktion aus Korpora, ist ein essentieller Bereich für vielzählige Anwendungen geworden. Das Internet offenbart hier zahlreiche Systeme, wie unter anderem die Software „ReVerb“ zeigt, welche konkrete Fragen durch die Eingabe von Argumenten und Relationen definieren lässt und damit mehrere Korpora durchsucht.⁴⁹ Betrachtet man allerdings die Ergebnisse auf die Frage zum Beispiel, womit Bakterien abgetötet werden könnten, so findet sich neben durchaus sinnvollen Begriffen wie „Antibiotika“ oder „Chlor“ auch das „Wasser“, jedoch ohne der besonders wichtigen und stets in den Korpora vorkommenden

⁴⁷ Steht für „Information Retrieval“

⁴⁸ Steht für „Hyperlink-Induced Topic Search“

⁴⁹ Vgl. <https://openie.allenai.org#> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Ergänzung „kochend“. Diese Problematik offenbart die Bedeutung, aber auch die Schwierigkeiten, die nach wie vor bei der semantischen Verarbeitung von natürlichen Sprachen bestehen. Ein grammatikalisch korrekter und verständlicher Satz erfordert vielzählige Abhängigkeiten der einzelnen Wörter. Neben einer notwendigen Fall- sowie Subjekt-Verb Kongruenz sind, nur um einige wenige Faktoren zu nennen, auch Zeitformen, Metaphern, Metonymien oder Mehrdeutigkeiten zu berücksichtigen. Ein Baustein für die Lösung derartiger Herausforderungen sind Phrasenstrukturgrammatiken, welche auf probabilistisch kontextfreien Grammatiken⁵⁰ aufbauen und diese je nach Modell um syntaktische, lexikalische sowie semantische Aspekte erweitern. Intelligente Systeme sind zwar mittlerweile imstande, medizinische Operationen oder die Steuerung hochkomplexer Anwendungen zu übernehmen, gleichzeitig ist es uns jedoch nach wie vor nicht gelungen, unsere natürliche Sprache vollständig umfassend und fehlerfrei technisch zu verarbeiten. Nehmen wir maschinelle Übersetzungssysteme als ein weiteres Beispiel. Durchaus erbringen diese gewiss bereits erstaunliche Leistungen, doch kann man diese aufgrund mehrerer Unzulänglichkeiten auch heute bestenfalls als eine Stütze betrachten. Wenngleich es zahlreiche unterschiedliche Translationsmethoden gibt, an welchen laufend gearbeitet wird, liegen diesen allerdings dennoch oftmals menschlich übersetzte Texte zugrunde, wie solche, die beispielsweise im Rahmen von Parlamentsdebatten mehrsprachig publiziert werden. Die Anwendung sucht aus derartigen parallelen Texten die einander zugehörigen Sätze, untergliedert diese in Phrasen, extrahiert Verzerrungen durch Glättungen und führt Schätzungen mittels des Erwartungs-Maximierungs-Algorithmus durch.

Besonders im Trend sind aktuell auch Spracherkennungssysteme, deren Disziplin mit vielen Schwierigkeiten umzugehen hat. Während zum Beispiel geschriebene Texte der meisten Sprachen Wortsegmentierungen aufgrund von Abständen aufweisen, verschmelzen diese im Gesprochenen sehr schnell, sofern, im Rahmen einer gestörten elektronischen Kommunikation möglicherweise, gar alle Laute vollständig übertragen werden. Zudem existieren Homophone, sich also ähnlich klingende Wörter, Dialekte, Regiolekte, Umgangssprachen und Sprachfehler – die Liste ist lang. Die zugrundeliegende Technik bedient sich hier erneut, neben unterschiedlichsten Feinheiten, vor allem Hidden-Markov-Modellen und Transformationen, um untergliederte Frames einem Lautmodell zuordnen zu können (vgl. Russel 2012, S. 996-1065).

⁵⁰ Die Typ 2 Grammatik im Sinne der Chomsky-Hierarchie

Nach dieser grundlegenden Einführung in die Thematik der modernen Sprachverarbeitung sei nun der Blick auf eine mögliche Vermittlung des Themas Sprache im schulischen Informatikunterricht gerichtet. Wie bereits am Ende des dritten Kapitels erläutert, ist der Bereich der KI seit Turing mit dem Aspekt der Sprache verknüpft und wird anhand dessen immer wieder gemessen und beurteilt. Aus diesem Grund empfiehlt es sich auch, mit diesem Aspekt zu starten.

5.2. Ein eigener Chatbot mittels RiveScript

Als möglicher Einstieg in die Thematik Sprache kann aus dem soeben genannten Grund daher ein Brainstorming sinnvoll sein und abgefragt werden, mit welchen Begriffen die Schüler und Schülerinnen „die künstliche Intelligenz“ im Generellen zu assoziieren pflegen. Nützlich wird es an dieser Stelle sein, die Ergebnisse festzuhalten, ob auf einer Tafel oder mithilfe eines Tools wie dem AnswerGarden⁵¹ ist hierbei selbstverständlich individuell beliebig entscheidbar. Die einzelnen genannten Punkte sind im Anschluss im Plenum zu besprechen und im Idealfall auch in Hinblick auf die allgemeine Zustimmung zu diskutieren. Die Frage, welche sich für die Lernenden aus diesem Einstieg ergeben sollte, ist jene, was KI tatsächlich ist und woran diese beurteilt werden könnte. Diese Übung dient somit nicht nur zur Abfrage der bereits vorhandenen Vorstellungen und Kenntnisse für den Aufbau weiterer Unterrichtseinheiten, sondern auch, um das Interesse der Jugendlichen am Thema zu wecken. Nicht selten sind es in der Klasse vorhandene Unstimmigkeiten, auf welche es in diesem Fall ohnehin kein Richtig und kein Falsch gibt, die allerdings das Gemüt mancher Schülerinnen und Schüler zu wecken vermögen. Im Anschluss empfiehlt sich ein Youtube-Video des Kanals „TED-Ed“⁵², das die mögliche Bewertung einer KI mit dem Turing-Test erklärt und im Zuge dessen auch auf Chatbots wie ELIZA, PARRY, Catherine oder Eugene Goostman eingeht und diese oberflächlich beschreibt. Leider ist das Video ausschließlich in englischer Sprache verfügbar, sollte aber aufgrund dessen angestrebter Vermittlungsfunktion, der klaren Sprache und den einstellbaren Untertiteln für alle Oberstufenschüler und -schülerinnen verständlich sein. Nachdem die Inhalte erneut besprochen wurden, sind die Jugendlichen in Kleingruppen einzuteilen, die sich nun jeweils einem im Internet verfügbaren Chatbot annehmen und diesen ausgiebig testen, bewerten und nach Möglichkeit die grobe Funktionsweise ermitteln. Im Idealfall definiert man hierfür zuvor einige Leitfragen, welchen den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung stehen. Welcher Bots man sich hierfür bedient, ist frei entscheidbar, wenngleich die bekannten

⁵¹ Vgl. <https://answergarden.ch/1746629> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

⁵² Vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=3wLqsRLvV-c> ("The Turing test: Can a computer pass for a human? – Alex Gendler") (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Applikationen ELIZA und A.L.I.C.E in jedem Fall zu empfehlen sind.⁵³ Die Ergebnisse dieser Aktivität sind von den einzelnen Gruppen im Anschluss der übrigen Klasse vorzustellen, sodass am Ende dieser Übung allen einige Beispiele samt Vor- und Nachteilen, sowie deren Funktionsweisen, bekannt sind. Der für den ersten Unterrichtsblock praktische Teil, welcher definitiv mehr als eine Unterrichtseinheit in Anspruch nimmt, widmet sich schließlich dem Ziel, selbst einen Chatbot zu entwerfen. Ein sehr einfaches und universales Werkzeug stellt hierfür die Scriptsprache „RiveScript“⁵⁴ dar, welche zudem sehr einfach in die Programmiersprachen Go, Java, Javascript, Perl und Python eingebunden werden kann. RiveScript kann am ehesten mit A.L.I.C.E verglichen werden, da auch diese auf einem Artificial Intelligence Markup Language (AIML) ähnlichen Modell basiert. Der Vorteil dieser Scriptsprache ist, neben der mit geringem Zeitaufwand erreichbaren, guten Verständlichkeit, das Unterstützungsangebot der Website. Diese bietet nicht nur ein umfangreiches Tutorial mit zahlreichen Beispielen an, sondern ermöglicht es auch, die Sprache direkt online und ohne Downloads auszuprobieren und zu testen.

Im Sinne der bereits zu Beginn dieses Kapitels begründeten angestrebten Universalität sei nun eine sehr einfache Implementierung in JavaScript gezeigt, die nun hauptsächlich der Veranschaulichung dient.⁵⁵

```

index.html
1  <!DOCTYPE html>
2  <html>
3    <head>
4      <meta charset="utf-8">
5      <meta name="viewport" content="width=device-width">
6      <title>Eigener Chatbot</title>
7      <script
8        type="text/javascript" src="https://unpkg.com/rivescript@latest/dist/rivescript.min.js">
9      </script>
10     <script
11       src="https://code.jquery.com/jquery-3.2.1.min.js"
12       integrity="sha256-hwg4gsxgFZhOsEEamdOYGBf13FyQuiTwlAQgxVSNgt4=" crossorigin="anonymous">
13     </script>
14     <script
15       type="text/javascript"
16       src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/p5@1.2.0/lib/p5.min.js">
17     </script>
18     <script
19       type="text/javascript" src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/p5@1.2.0/lib/addons/p5.sound.min.js">
20     </script>

```

Abbildung 7: Chatbot – index.html – Teil 1

⁵³ Mögliche Chatbots im Internet: <https://www.masswerk.at/elizabot/> (ELIZA) - <https://www.botlibre.com/> (hier stehen zahlreiche zur Auswahl, auch eine ähnliche Version von PERRY) -

<https://www.pandorabots.com/pandora/talk?botid=b8d616e35e36e881> (A.L.I.C.E) -

⁵⁴ Vgl. <https://www.rivescript.com> (alle Links zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

⁵⁵ Das gezeigte Beispiel ist angelehnt an einen zahlenratenden Chatbot, der folgend aufzufinden ist: https://github.com/CodingTrain/website/tree/main/CodingChallenges/CC_079_Number_Guessing_Chatbot/P5 (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

```

21 <script
22   type="text/javascript"
23   src="script.js">
24 </script>
25 </head>
26
27 <body>
28
29   <h2>Chatbot</h2>
30   <p>
31     Deine Eingabe:<br>
32     <input id="user_input"></input>
33     <button id="submit">Bestätigen</button>
34   </p>
35
36   <p>
37     Chatbots Antwort: <span id="output">
38   </p>
39
40
41 </body>
42
43 </html>
44

```

Abbildung 8: Chatbot – index.html – Teil 2

Die oben gezeigte html-Datei ist sichtlich kaum mit Inputs bestückt und sorgt neben der Einbindung aller notwendigen Ressourcen für das mittels Javascript erzeugte Eingabe- und Ausgabefeld. Den Lernenden kann hoffentlich mehr Kreativität als dem Autor zugemutet werden.

```

script.js x
1  function setup() {
2    noCanvas();
3
4    let bot = new RiveScript();
5    bot.loadFile("brain.rive", loading_done, loading_error);
6
7    function loading_done() {
8      console.log('Chatbot ist bereit');
9      bot.sortReplies();
10   }
11
12   function loading_error() {
13     console.log('Chatbot ist nicht bereit');
14   }
15
16   let button = select('#submit');
17   let user_input = select('#user_input');
18   let output = select('#output');
19
20   button.mousePressed(chat);
21
22   function chat() {
23     let input = user_input.value();
24
25     bot.reply("local-user", input).then(
26       function(reply) {
27         output.html(reply);
28       }
29     );
30   }
31 }
32

```

Abbildung 9: Chatbot - script.js

Die Javascript Implementierung beinhaltet nun ebenso nur die dürrftigsten Zeilen Code, um die Eingaben des Users an die RiveScript-Datei zu übermitteln und die Ergebnisse als Ausgabe auf dem Bildschirm auszugeben. Wie ersichtlich, wurde ebenso eine Testfunktion implementiert, die in der Konsole des Browsers stets mögliche Fehler des Chatbotscripts anzeigt und sehr zu empfehlen ist. Die nun untenstehende Abbildung gewährt einen Einblick in die durchgeführten Implementierungen des in diesem Beispiel genannten „Gehirns“, das je nach Eingabe des Nutzers einen Output auswählt und an die JavaScript-Datei übergibt. Wie gezeigt, bedient sich RiveScript auch Wildcards, mit welchen Eingabewerte verallgemeinert oder spezifiziert werden – das Zeichen „#“ beispielsweise, erwartet lediglich numerische Werte. Wie bei den Zeilen 29-31 angeführt gibt es auch die Option, mehrere Ausgabemöglichkeiten anzulegen, welche vom Programm sodann zufällig ausgewählt werden. Das Handbuch auf der RiveScript-Plattform listet noch einige andere spannende Möglichkeiten für die Implementierung auf, sodass der Kreativität der Schülerinnen und Schüler wenig Grenzen gesetzt sind. Die auch in dieser Veranschaulichung eingeführten Substitutionen (Zeile 7-8) gewähren konzeptionell auch ideal Einblick in die Komplexität des Themengebiets Sprache. Auch agiert das Script zwar nicht case-sensitive, doch gibt es ohne Zutun dennoch grundsätzliche Einschränkungen bei einigen Eingabemöglichkeiten – beispielsweise führt das ‚ß‘ zu Problemen.

```

brain.rive
1  ! version = 2.0
2
3  // Bot Variablen
4  ! var name = Chatbot
5  ! var age  = 16
6
7  // Substitutionen
8  ! sub gehts = geht es
9
10 + *
11 - Lass uns über etwas anderes sprechen!
12 - Erzähl mir etwas anderes
13
14 + hallo
15 - Hallo! Wie heißt du?
16
17 + wie geht es dir
18 - Mir geht es gut! Wie heißt du?
19
20 + ich heisse * *
21 - Nett, dich kennen zu lernen <star2> <star1>! Wie alt bist du?
22
23 + ich heisse *
24 - Nett, dich kennen zu lernen <star1>! Wie alt bist du?
25
26 + ich bin # jahre alt
27 - Cool! Ich bin <bot age> Jahre alt!
28
29 + * langweilig
30 - Was sind deine Hobbies?
31 - Das ist schade! Was machst du gerne?
32

```

Abbildung 10: Chatbot - brain.rive

Die nachstehende Grafik zeigt nun noch eine Beispieleingabe, die durch die bereits erläuterte Substitution übersetzt wurde und, sodass die Zeile 18 als Output angezeigt wird.



https://Chatbot.blackmailer86.repl.co

Chatbot

Deine Eingabe:

Wie gehts dir

Chatbots Antwort: Mir geht es gut! Wie heißt du?

Abbildung 11: Chatbot - Beispielsatz

Sofern den Schülerinnen und Schülern das Testen und Ausprobieren nicht ohnehin ausreichend Freude bereitet haben sollte, so könnte am Ende der Unterrichtsphase, in welcher die Lernenden nun selbst an den eigenen Programmen arbeiten konnten, ein Wettbewerb aller Chatbots durchgeführt werden, um einen finalen Sieger küren zu können. Selbstverständlich sind in Bezug auf die Gestaltung des Chatbots zudem kaum Grenzen gesetzt, sodass man die praktische Phase auch je nach Belieben intensivieren und ausbauen kann. Abschließend empfiehlt es sich diesen Themenblock mit einem gemeinsamen Resümee oder weiteren Informationen abzurunden. Hierfür bietet sich das folgende Beispielvideo des Kanals „BBC Studios“ an, welches das Prinzip des chinesischen Raums von Searle erläutert (vgl. Searle 1990) und somit auf die Eingangsfrage nach der Intelligenz eines Systems zurückkehrt.⁵⁶ Vor allem im Wahlpflichtfach Informatik, möglicherweise in einer achten Schulstufe, können außerdem durchaus einige der vor dieser Unterrichtseinheit geschilderten Theorien angesprochen und geschildert werden. Anschauliche und spannende begleitende Beispiele lassen sich im Internet zu beinahe allen Punkten finden, wie dies unter anderem eine linguistische Covid-19 Suchmaschine demonstriert:⁵⁷

⁵⁶ Vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=D0MD4sRHj1M> ("The Chinese Room Experiment | The Hunt for AI | BBC Studios") (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

⁵⁷ Vgl. <https://spike.covid-19.apps.allenai.org/datasets/covid19/search#welcome> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

Vgl. <http://www.coli.uni-saarland.de/projects/sfb378/negra-corpus/sentno3.html> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

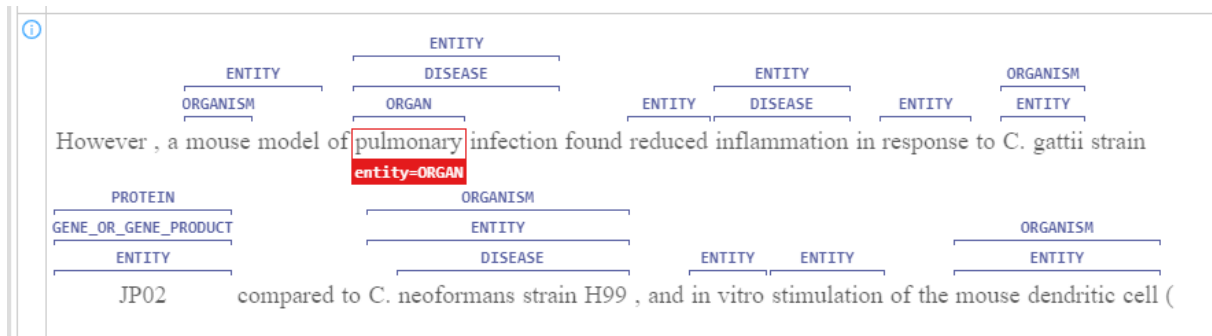


Abbildung 12: Allen Institute for AI - Search over covid19

5.3. Ein Textüberwachungsprogramm für soziale Netzwerke

Eine weitere Möglichkeit, welche sich auch wunderbar als Ergänzung zum vorangegangenen Unterrichtsbeispiel eignen kann, ist die Erstellung eines Programms, das durch die Verwendung neuronaler Netze Textbeiträge von Benutzern und Benutzerinnen auf sozialen Netzwerken evaluiert und diese in eine semantisch positive und negative Gruppe klassifiziert. Auch dieses Unterrichtsthema verknüpft damit nicht nur konkrete Kompetenzen in Bezug auf eine KI, sondern thematisiert außerdem vorhandene gesellschaftliche Einflussbereiche einer solchen. Im Sinne einer möglichst breiten Anwendungsmöglichkeit verwenden wir nun die bereits beschriebene Plattform machinelearningforkids.co.uk in Kombination mit der visuellen Programmiersprache Scratch⁵⁸. Wie schon erläutert, ist es ohne weiteres möglich, Scratch mit Python oder dem App Inventor zu ersetzen. Außerdem könnte das neuronale Netz auch von Grund auf selbstständig implementiert werden – als wunderbare Stütze kann das gleichfalls schon erwähnte Lehrbuch von Steinwendner und Schwaiger fungieren (Steinwendner 2020).

Ob der Einstieg in die Einheit direkt mit der Beschreibung des Unterrichtsprojekts, oder zunächst mit theoretischen Grundlagen erfolgt, kann je nach individueller Situation unterschiedlich entschieden werden. Als dienliche Basis können hierfür die beiden Kapitel „Maschinelles Lernen“ und „Neuronale Netze“ der Plattform „Elements of AI“⁵⁹ fungieren, die wie im Kapitel 4.2.3 beschrieben, gemeinsam erarbeitet werden könnten. Wir wenden uns nun im Folgenden bereits dem Projekt selbst zu.

Dieses könnte die Lernenden in angeheuerte Spezialistinnen und Spezialisten verwandeln, welche von Regierungsvertretern des strengen und unbarmherzigen Diktators „Improbis“ mit einem Geheimprojekt betraut wurden, ein Überwachungssystem zu erstellen, das Textbeiträge von Nutzern und Nutzerinnen sozialer Netzwerke analysiert und diese in regierungsfeindliche und

⁵⁸ Vgl. <https://scratch.mit.edu> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

⁵⁹ Vgl. <https://course.elementsofai.com/de/> (zuletzt aufgerufen am 25.02.2021)

5.3. Ein Textüberwachungsprogramm für soziale Netzwerke

neutrale beziehungsweise regierungsfreundliche Kategorien einstuft, um damit gezielter gegen mögliche „Terroristen“ vorgehen zu können. Selbstverständlich kann auch eine völlig andere Geschichte als Motivator dienen, andere mögliche und völlig differente Beispiele sind rasch überlegt. Die Umsetzung der nun notwendigen Schritte ist im Grunde ebenso spielerisch einfach. Zunächst gilt es ein Projekt anzulegen, in welchem man den zu erkennenden Inputtyp (Text, Bilder, Nummern, Töne) inklusive der bei Text verwendeten Sprache „Deutsch“ auswählt. Im Anschluss stehen die drei Möglichkeiten „Trainieren“, „Lernen & Testen“ sowie „Machen“ zur Verfügung. Unter dem ersten Reiter sind anschließend Labels anzulegen und mit Beispielen zu versehen:

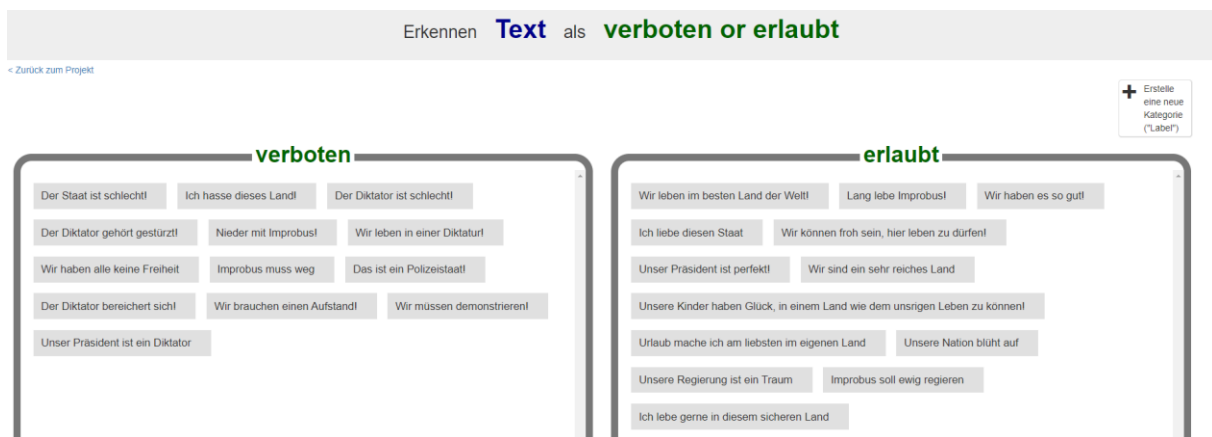


Abbildung 13: Machinelearningforkinds: Label

Für das anschließende Training des neuronalen Netzes sind für jede Kategorie zumindest fünf Beispiele erforderlich. Empfehlenswert ist es, dass die Lernenden selbstständig eigene Beispiele ermitteln und im Verlauf der Übung damit auch den konkreten Zusammenhang zwischen den Trainingsdaten und der Effizienz des Systems selbstständig erfahren. Begnügen sich die Schülerinnen und Schüler mit lediglich der Mindestmenge, so wird sich aufgrund der Ergebnisdaten rasch zeigen, dass nachzubessern ist. Nach der Dateneingabe kann das Netz trainiert werden, dies geschieht recht unspektakulär mittels eines Knopfdrucks und nimmt bei der in der Abbildung dargestellten Testmenge in etwa 30 Sekunden in Anspruch. Nach dieser Trainingsphase gibt es bereits die Möglichkeiten, Textbeispiele auszutesten.

5.3. Ein Textüberwachungsprogramm für soziale Netzwerke

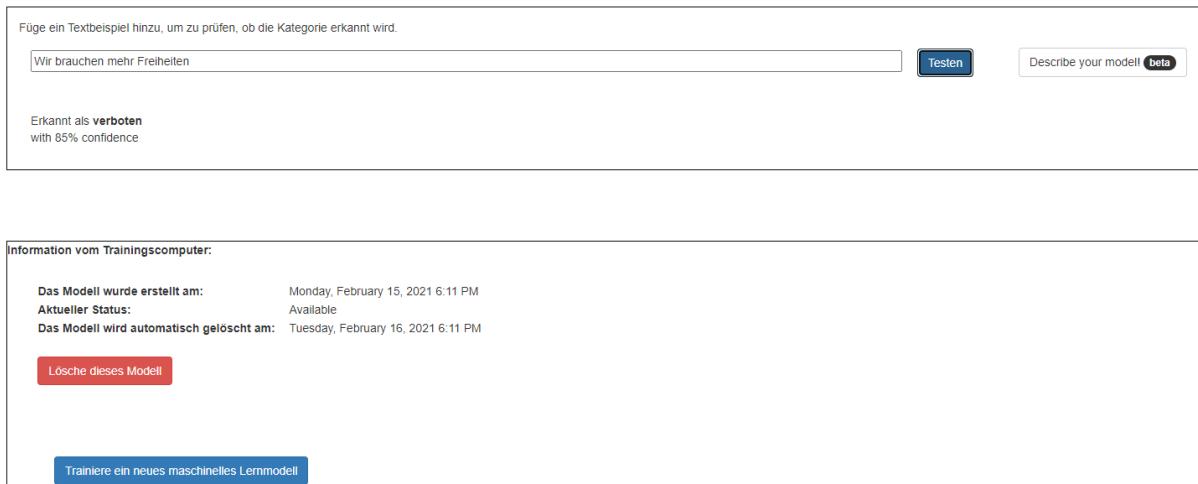


Abbildung 14: Machinelearningforkinds: Lernmaske

Unter dem dritten Reiter „Machen“ kann schließlich ausgewählt werden, mit welcher Programmiersprache fortgefahren werden möchte. Wählt man Python aus, so gelangt man zu einer Vorlage, welche alle notwendigen Funktionen und Einbindungen bereits vordefiniert, sodass sich um diese Aspekte nicht mehr gesorgt werden muss. Wir haben in diesem Beispiel nun Scratch ausgewählt und, wie bereits bei der vorangehenden Unterrichtseinheit, eine besonders einfache und wenig kreative Umsetzung verfolgt:



Abbildung 15: Scratch

All jene, welche bereits Erfahrungen mit Scratch gemacht haben, kennen die doch sehr vielfältigen und umfangreichen Möglichkeiten, sodass die Ausarbeitungen der Schüler und Schülerinnen hoffentlich weitaus ansprechender sind als die obig gezeigte. Auch diese Variante ermöglicht zudem,

wie anhand der untersten drei nicht verbauten Felder zu sehen ist, eine Übermittlung von Eingaben in die Trainingsmenge des neuronalen Netzes, sofern diese, im Sinne des überwachten Lernens, entsprechend bewertet sind. Diese Funktionen sollten in Hinblick der möglichst umfangreich vermittelten inhaltlichen Kompetenzen daher nicht ausgelassen werden, ebenso eine ausgiebige Testung der Ergebnisse des Netzes selbst. Welche Entscheidungen werden wie und warum getroffen, wenn über einen Urlaub ans Meer oder ein Diktat im Deutschunterricht geschrieben wird? Wie hoch ist der Konfidenzfaktor? Was ist einer Überanpassung? Sehr empfehlenswert für die Behandlung ist außerdem die im Reiter „Lernen und Testen“ verfügbare graphisch animierte Erläuterung der Funktionsweise des neuronalen Netzes, samt Veranschaulichung der Rechenschritte und der Backpropagation, wie der untenstehende Ausschnitt zeigt.

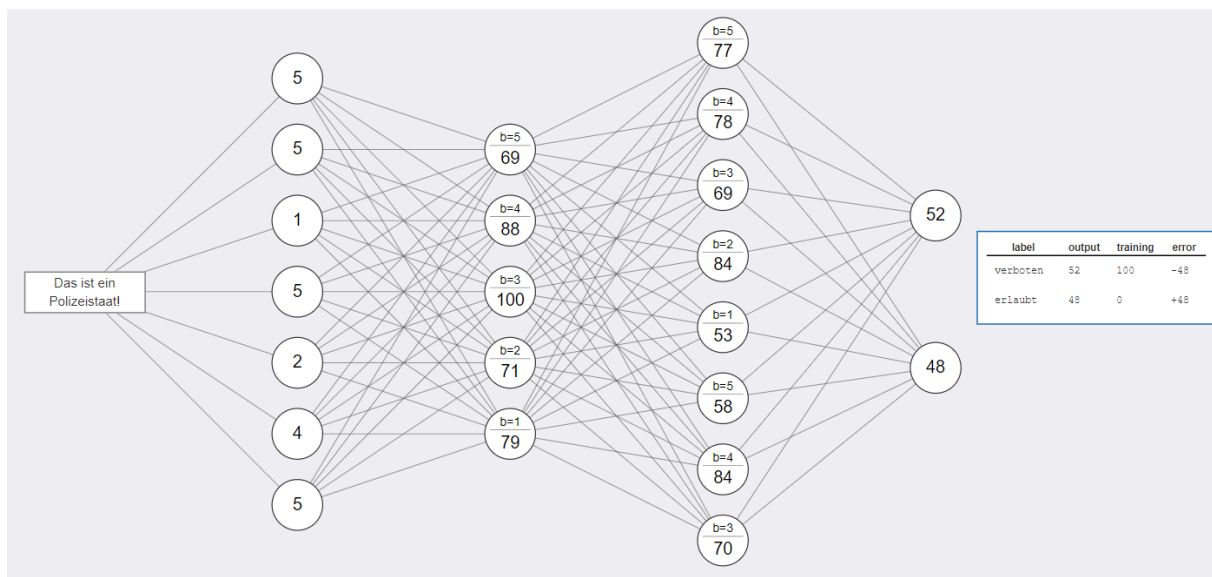


Abbildung 16: Machinelearningforkids: Neuronales Netz

Wenngleich es zweifelsfrei möglich ist, alle relevanten Inhalte zu neuronalen Netzen im Rahmen der nun zuletzt beschriebenen Unterrichtseinheit zu behandeln, könnte diese auch erneut lediglich eine Einführung in das Thema darstellen. Generell sind die vorhandenen Möglichkeiten, wie gezeigt, ohnehin zahlreich, nicht zuletzt aufgrund des starken interdisziplinären Charakters der Sprache und der KI als solcher. Aufgrund der starken gesellschaftlichen Bezüge des nun behandelten Themas könnte darauf aufbauend auch eine intensivere Beschäftigung der Einflüsse und der Auswirkungen intelligenter Systeme auf die Allgemeinheit durchgeführt werden. Wirft man einen Blick auf die übrigen Themen des Lehrplans, so können leicht vielzählige Übergänge gefunden werden, sodass die Disziplin, nahezu an jede Position im Jahresplan einer Lehrperson gerückt werden könnte.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Disziplin der künstlichen Intelligenz als Themengebiet für die Behandlung im schulischen Informatikunterricht, unter Berücksichtigung der fachlichen, edukativen und institutionellen Rahmenbedingungen zu erfassen, aufzuschlüsseln und zu evaluieren.

Der Blick auf die Domäne der künstlichen Intelligenz präsentierte einen ausgesprochen umfangreichen Fachbereich, sowohl in theoretischer wie auch in anwendungsbezogener Hinsicht. Die Forschung brachte in den letzten Jahrzehnten mehrere konzeptionell völlig unterschiedliche Theorien und Methoden hervor, welche allesamt wesentliche Beiträge zur Entwicklung von Anwendungstechnologien lieferten, die schon heute in nahezu allen Branchen vielzählig eingesetzt werden. Wenngleich die Menschheit erst am Anfang der Bestrebung der Erschaffung einer starken künstlichen Intelligenz steht, sofern dies überhaupt jemals möglich sein wird, bestimmen schon jetzt vermeintlich intelligente Anwendungen unseren Alltag und damit auch unsere Zukunft.

Die adäquate Vermittlung der dieser Technologien zugrundeliegenden Konzepte stellt daher, nicht zuletzt auch aufgrund der bildungspolitischen Bestrebungen, eine essentielle Rolle dar.

Obwohl die Bedeutung der informatischen Bildung, wie dies die Einführung der digitalen Grundbildung beweist, allmählich an Zuwachs gewinnt, ist der Informatikunterricht an den österreichischen AHS mit mehreren Herausforderungen konfrontiert, sodass die Qualität der an die Schülerinnen und Schüler vermittelten Lerninhalte zurzeit am stärksten vom Engagement der jeweiligen Lehrkraft abhängig ist. Sowohl der Lehrplan als auch die zur Verfügung stehenden Materialien für die Wissensvermittlung weisen leider zum Teil gravierende Unzulänglichkeiten auf, sodass damit kaum Stützen für die vollständige Erreichung der notwendigen Kompetenzen bereitstehen. Das Fazit der durchgeführten Analyse des Status quo stellt somit auch einen Appell an die Bundesregierung dar, die Zukunft unserer Nachfolgegeneration ernst zu nehmen und Sorge zu tragen, die Missstände im Bildungsbereich zu beseitigen.

Im Rahmen der Arbeit wurde aus diesem Grund versucht, neben einer möglichst angemessenen Darstellung der wichtigsten Bereiche des Fachbereichs der künstlichen Intelligenz, die zur weiteren ausgiebigen Intensivierung einladen, auch verfügbare zusätzliche Angebote in Form von Unterrichtsmaterialien, Vorträgen oder Kursen vorzustellen. Im Anschluss an diese wurden auf Basis aller Ergebnisse außerdem zwei Unterrichtskonzepte zum Thema „KI und Sprache“ aufbereitet, welche als Beispiele die Vielfalt der vorhandenen Vermittlungsmöglichkeiten der Disziplin veranschaulichen und Lehrpersonen aller Schulformen einladen, sich durch diese für den eigenen Unterricht inspirieren zu lassen.

7. Quellenverzeichnis

7.1. Gedruckte Monographien, Sammelbände oder Berichte

- ALPAYDIN, ETHEM (2019): *Maschinelles Lernen*. 2. Erweiterte Auflage. München, Wien: De Gruyter Oldenbourg.
- ANZBÖCK, FRIEDRICH; MATHUBER, ALF; PROWAZNIK, BRUNO; REITER, ANTON; WÖHRL, MANFRED (1985): *Informatik 5. Klasse AHS*. Wien: Bohmann Verlag.
- BÄCKER, DIRK (2008): *Die Kontroverse als das Programm zur nächsten Gesellschaft*. In: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.): *Die dritte industrielle Revolution - Aufbruch in ein ökologisches Jahrhundert. Dimensionen und Herausforderungen des industriellen und gesellschaftlichen Wandels*. Berlin: Bundesministerium f. Umwelt Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Umwelt und Innovation). S. 125-128.
- BÄR, RALF; BISCHOFBERGER, GERHARD; DEHLER, ELMAR; HAMMER, NIKOLAI; SCHIEMANN, BERND; WOLF, THOMAS (2017): *Informatik und Informationstechnik für Gymnasien und höhere Bildungsgänge im beruflichen Schulwesen*. 3. Auflage. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG.
- BECKER, PETER-RENÉ; SCHMIDT, MARTIN (1998): *Formen des Werkzeuggebrauchs bei Tieren*. In: *Geschichte heißt: So ist's gewesen! abgesehen von dem wie's war....* Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte e.V. S. 111 – 123.
- Bitkom – Bundesverband Informatikwissenschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hg.) (2018): *Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz. Ein Navigationssystem für Entscheider*. Abgerufen am 25.02.2021, von: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2018-12/181204_LF_Periodensystem_online_0.pdf
- BOCK-SCHAPPELWEIN, JULIA; JANGER, JÜRGEN; REINSTALLER, ANDREAS (2012): *Bildung 2025 - die Rolle von Bildung in der österreichischen Wirtschaft*. Wien: WIFO.
- BOURDIEU, PIERRE (1992): *Die verborgenen Mechanismen der Macht*. Hamburg: VSA-Verl (Schriften zu Politik & Kultur, 1).
- BUCHKREMER, RÜDIGER; HEUPEL, THOMAS; KOCH, OLIVER (2020): *Künstliche Intelligenz in Wirtschaft and Gesellschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Sport (BMUKS) (07. März 1985). *Lehrpläne der allgemeinbildenden Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen*. BGBl. Nr. 88/1985. Wien.
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Sport (BMUKS) (07. Feber 1989). *Lehrplan AHS-Oberstufe Informatik*. BGBl. Nr. 63/1989. Wien.
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (BMBWK) (08. Juli 2004). *Lehrplan AHS-Oberstufe Informatik*. BGBl. II. Nr. 277/2004. Wien.

Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur. *Ministerialentwurf - Vorblatt und Erläuterungen*. (2008). Wien.*

* (für das später beschlossene „Bundesgesetz, mit dem das Schulunterrichtsgesetz geändert wird. BGBl. I Nr. 117/2008.“)

Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur. *Bundesgesetz, mit dem das Schulunterrichtsgesetz geändert wird*. BGBl. I Nr. 117/2008. Wien.

Bundesministerium für Bildung (BMB) (09. August 2016). *Lehrplan AHS-Oberstufe Informatik*. BGBl. II. Nr. 219/2016. Wien.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (18. April. 2018). *Information betreffend Einführung der Verbindlichen Übung "Digitale Grundbildung" in der Sekundarstufe 1 im Schuljahr 2018/19*. BMBWF-9.000/0011-II/8/2018

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) (19. April 2018). *Lehrplan Digitale Grundbildung*. BGBl. II. Nr. 71/2018. Wien.

BUSLEPP, KARL (1924): *Talos 1*. In: Wilhelm Heinrich Roscher (Hg.): Ausführliches Lexikon der griechischen und römischen Mythologie. Band 5, Leipzig: B.G. Teubner. S. 22–37.

COPELAND, MICHAEL (2016): *What´s the Difference Between Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning?*. Abgerufen am 25.02.2021, von: <https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-ai/>

Europäische Kommission (2010): *Europa 2020*. Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. Brüssel. Abgerufen am 25.02.2021, von: https://www.cep.eu/Analysen_KOM/KOM_2010_2020_Strategie_Europa_2020/KOM_2010-2020.pdf

FASCHING, JOSEF; KOPEINIGG, CHRISTINE; MADRITSCH, REINHOLD; MICHEUZ, PETER; PERGER, PAUL; SIMA, KURT; STEINTHALER, GERT (2010): *it.basics. Informations- und Kommunikationstechnologie*. Wien: Westermann.

Fraunhofer-Allianz Big Data (Hg.) (2018): *Künstliche Intelligenz in Deutschland – Ein systematischer Katalog von Anwendungen des maschinellen Lernens*. Abgerufen am 25.02.2021, von: https://www.bigdata-ai.fraunhofer.de/content/dam/bigdata/de/documents/Publicationen/Studie_KI_in_De_20181107.pdf

GARDNER, HOWARD (1994): *Abschied Vom IQ: Die Rahmentheorie Der Vielfachen Intelligenzen*. Stuttgart: Klett-Cotta.

HAMMOND, KRIS (2016): *The Periodic Table of AI*. Abgerufen am 22.01.2018, von <https://ai.xprize.org/news/periodic-table-of-ai> In: Bitkom – Bundesverband Informatikwissenschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hg.) (2018): Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz. Ein Navigationssystem für Entscheider. Abgerufen am 25.02.2021, von: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2018-12/181204_LF_Periodensystem_online_0.pdf

HARTMANN, KARSTEN (2010): *Einführung in die Expertensystem-Technologie*. Merseburg: Hochschulverl. Vorwort, S. 213-215.

- HARTMANN, WERNER (2003): *Was unterscheidet ein Auto von einem Computer*. In: Micheuz, Peter (Hg.): *Schulinformatik in Österreich, quo vadis?* Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (bm:uk). CDA Verlag. S. 8-10.
- HEUDORFER, ANNA (2020): *Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik an der Hochschule? Wolfgang Klafkis Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. In: Tremp, Peter; Eugster, Balthasar (Hg.) *Klassiker der Hochschuldidaktik?* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden: Doing Higher Education. S.173-193.
- HODNIGG, KARIN; MITTERMEIR, ROLAND (2010): *Konzept einer stufenweisen Fortbildung für InformatiklehrerInnen*. In: Brandhofer, Gerhard (Hg.): *25 Jahre Schulinformatik. Zukunft mit Herkunft*. Wien: Österr. Computer-Ges. S. 134-146.
- HUBWIESER, PETER (2007): *Didaktik der Informatik. Grundlagen, Konzepte, Beispiele*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- KALTOFEN, LEO; HAIDER, ANDREA; MARIK, GABRIELE (2005): *Informatik und angewandte Informatik*. 3 FW. 1. Auflage. Linz: Trauner Verlag.
- KLAFKI, WOLFGANG (2007): *Grundzüge eines neuen Allgemeinbildungskonzepts. Im Zentrum: Epochaltypische Schlüsselprobleme*. In: Klafki, Wolfgang: *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. 6. Auflage. Weinheim und Basel: Beltz. S.56-69.
- KLAFKI, WOLFGANG (2007): *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. 6. neu ausgestattete Auflage. Weinheim und Basel: Beltz-Bibliothek. S. 19-25.
- KOLLER, HANS-CHRISTOPH (2004): *Grundbegriffe, Theorien und Methoden der Erziehungswissenschaft. Eine Einführung*. Stuttgart: W. Kohlhammer. S. 71-92.
- KRIZHEVSKY, ALEX; SUTSKEVER, ILYA; HINTON, GEOFFREY (2017): *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*. New York: Communications of the ACM 60(6). S 84-90.
- KURBEL, KARL (1992): *Entwicklung Und Einsatz Von Expertensystemen: Eine Anwendungsorientierte Einführung in Wissensbasierte Systeme*. 2. Verb. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer.
- KURZWEIL, RAY (1993): *KI: Das Zeitalter Der Künstlichen Intelligenz*. Wien (u.a.): Bertelsmann Club Buchgemeinschaft Donauland (u.a.).
- LEIDLMAIR, KARL (Hg.) (1988): *Wozu künstliche Intelligenz?* Wien: VWGÖ (Conceptus-Studien, 5).
- LI, EN; ZENG, LIEKANG; ZHOU, ZHI; CHEN, XU (2020): *Edge AI: On-Demand Accelerating Deep Neural Network Inference via Edge Computing*. IEEE Transactions on Wireless Communications 19.1. S. 447-457.
- LIGHTHILL, JAMES (1973): *Artificial intelligence. A general survey*. In: Science Research Council (Hg.): *Artificial Intelligence. A Paper Symposium*. London: Science Research Council. S. 1-21.
- LUGER, GEORGE (2001): *Künstliche Intelligenz. Strategien zur Lösung komplexer Probleme*. 4. Auflage. Kösel, Kempten: Pearson Education Deutschland GmbH.

- MAINZER, KLAUS (2019): *Künstliche Intelligenz – Wann übernehmen die Maschinen?* 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.
- MAYER, HORST OTTO; HERTNAGEL, JOHANNES; WEBER, HEIDI (2009): *Lernzielüberprüfung Im ELearning*. 1. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- MCCARTHY, JOHN (1955): *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*.
- MCCULLOCH, WARREN; PITTS, WALTER (1943): *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Chicago, Illinois: Univ. Press.
- MINSKY, MARVIN; PAPERT, SEYMOUR (1969): *Perceptrons. An introduction to computational geometry*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- MITTERMEIR, ROLAND (2010): *Informatikunterricht zur Vermittlung allgemeiner Bildungswerte*. In: Brandhofer, Gerhard (Hg.): 25 Jahre Schulinformatik. Zukunft mit Herkunft. Wien: Österreichische Computer-Gesellschaft. S. 54-73.
- MNIH, VOLODYMYR; KAVUKCUOGLU, Koray; Silver, David; Graves, Alex; Antonoglou, Ioannis; Wierstra, Daan; Riedmiller, Martin (2013): *Playing Atari with Deep Reinforcement Learning*.
- MOLTER, TIM; NUGENT, ALEXANDER (2018): *Jenseits Des Mooreschen Gesetzes*. In: Physik in Unserer Zeit 49.(2). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. S.90-95.
- NEWELL, ALLEN; SIMON, HERBERT (1963): *GPS: a program that simulates human thought*. In: Feigenbaum, Edward und Feldmann, Jochen (Hg.) Computers and Thought. New York: McGraw-Hill
- NEWELL, ALLEN; SHAW, CLIFF; SIMON, HERBERT (1957): *Empirical explorations of the logic theory machine. A case study in heuristics*. Santa Monica: Rand Corp.
- NIEVERGELT, JÜRG (1995): *Welchen Wert haben theoretische Grundlagen für die Berufspraxis? Gedanken zum Fundament des Informatik-Turms*. In: Informatik Spektrum. 18(6). Berlin: Springer. S. 342-344.
- NILSSON, NILS (1980): *Principles of Artificial Intelligence*. Palo Alto, California: Tioga Publishing. S.175-180.
- PEARL, JUDEA (1984): *Heuristics: Intelligent Strategies for Computer Problem Solving*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley (u.a.)
- PEC, GERHARD (1994): *Informatik und angewandte EDV*. Wien: Dorner.
- PROWAZNIK, BRUNO (1993): *Der Einsatz des Computers im Trägerfach Deutsch im Rahmen der informationstechnischen Grundbildung. Darstellung der pädagogischen und sozio-ökonomischen Voraussetzungen, Beschreibung der Entwicklung und des Ist-Standes*.
- REIFF, NATHAN (2020): *10 Biggest Software Companies*. Abgerufen am 25.02.2021, von: <https://www.investopedia.com/articles/personal-finance/121714/worlds-top-10-software-companies.asp>

- REITER, ANTON (2010): *Historischer Rückblick*. In: Micheuz, Peter (Hg.): 25 Jahre Schulinformatik in Österreich. Zukunft mit Herkunft. Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (bm:uk). CDA Verlag. S. 4-5.
- REITER, ANTON: (2012): *Von der Informatik zur Medienerziehung. Ein Rückblick auf 25 Jahre Computereinsatz im Unterricht*. In: Hardach, Karl. (Hg.): Internationale Studien zur Geschichte von Wirtschaft und Gesellschaft. Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag. S. 859-921.
- REITERSTOFER, GERHARD; KASPER, ADOLF; BÖHM, JOSEPH; SCHUH, BERNHARD (1985): *Grundzüge der Informatik. Für die fünfte Klasse der allgemeinbildenden höheren Schulen*. Wien: Manzsche Verlags- und Universitätsbuchhandlung.
- ROSENBLATT, FRANK (1957): *The perceptron, a perceiving and recognizing automaton. Project Para*. Buffalo, New York: Cornell Aeronautical Laboratory.
- RISSLAND, EDWINA (1983): *Examples in legal reasoning: Legal hypotheticals*. In: Proceedings of IJCAI-83. San Mateo, California: Morgan Kaufman. S. 90-92.
- RISSLAND, EDWINA; ASHLEY, KEVIN (1987): *HYPOTHESIS: A case based system for trade secrets law*. In: Proceedings, First International Conference on Artificial Intelligence and Law. S. 60-66.
- RUSSELL, STUART; NORVIG, PETER (2012): *Künstliche Intelligenz. Ein moderner Ansatz*. 3. aktualisierte Auflage. München, Harlow (u.a.): Pearson, Higher Education (Informatik).
- SAMUEL, ARTHUR (1959): *Some studies in machine learning using the game of checkers*. In: IBM Journal of Research and Development. Armonk: IBM Corp. S. 211-229.
- SCHICK, UWE (2018): *Was ist künstliche Intelligenz?* Abgerufen am 25.02.2021, von: <https://news.sap.com/germany/2018/03/was-ist-kuenstliche-intelligenz/>
- SCHILDKNECHT, CHRISTIANE (2005): *Der Dualismus und die Rettung der Phänomene*. In: Wolters, Gereon; Carrier, Martin (Hg.): Homo Sapiens und Homo Faber. Epistemische und technische Rationalität in Antike und Gegenwart: Festschrift für Jürgen Mittelstraß. Berlin: Walter de Gruyter. S. 225-238.
- SCHUH, BERNHARD; KROH, ANTON; LEDERBAUER, ERNST; FLECK, PETER; HORNY, CHRISTIAN (2017): *Informatik Grundzüge: Begriffe, Grundlagen, Prinzipien*. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- SCHUH, BERNHARD; DONHAUSER, PETER; KROH, ANTON; LEDERBAUER, ERNST; STAPPLER, SONJA, WERDENICH, CHRISTINE (2002): *Grundzüge der Informatik II. Für die sechste und siebente Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen*. 7. Auflage. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- SCHUH, BERNHARD; FLECK, PETER; KROH, ANTON (2012): *Informatik Grundzüge. Begriffe, Grundlagen, Prinzipien*. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- SEARLE, JOHN (1990): *Ist der menschliche Geist ein Computerprogramm?* In: Spektrum der Wissenschaft. Heft 3. S.40-47.
- SEEGERER, STEFAN; LINDNER, ANNABEL; ROMEIKE, RALF (2019): *AI Unplugged – Wir ziehen Künstlicher Intelligenz den Stecker*. In: Pasterna, Arno (Hg.), Informatik für alle. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 325-334.

- SIMON, HERBERT (1981): *The Sciences of the Artificial*. 2. Auflage. Cambridge: MIT Press.
- SPITZER, MANFRED (2012): *Digitale Demenz. Wie wir uns und unsere Kinder um den Verstand bringen*. München: Droemer.
- STEINWENDNER, JOACHIM; SCHWAIGER, ROLAND (2020): *Neuronale Netze programmieren mit Python*. 2. aktualisierte und überarbeitete Auflage. Bonn: Rheinwerk Computing.
- SUGOMORI, YUSUKE; SOUZA, ALAN; KALUZA, BOSTJAN; SOARES, FÁBIO (2017): *Deep learning. Practical neural networks with Java: build and run intelligent applications by leveraging key Java machine learning libraries: a course in three modules*. Birmingham: Packt Publishing.
- SWERTZ, CHRISTIAN (2018): *Digitale Grundbildung im Pilotversuch*. In: Medienimpulse. Band 56. Nr. 3.
- SZLEZÁK, THOMAS (2019): *Aufsätze zur griechischen Literatur und Philosophie*. 1. Auflage. Baden-Baden: Academia-Verlag.
- Tesla Team (2016): *A Tragic Loss*. Abgerufen am 25.02.2021, von: https://www.tesla.com/de_AT/blog/tragic-loss
- TITTLER, LYDIA; HEINISCH, BERNHARD (1998): *Informatik aktiv*. 3. überarbeitete Auflage. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH.
- TURING, ALAN (1950): *Computing machinery and intelligence*. Oxford: Blackwell for the Mind Association.
- TURING, ALAN (1936): *On computable numbers. With an application to the Entscheidungsproblem*. London: Mathematical Society.
- Tuwien (2020): *Informatik-Ausbildung: Offener Brief an die neue Regierung*. Abgerufen am 25.02.2021, von: <https://www.informatikaustria.at/2020/01/07/informatik-ausbildung-offener-brief-an-die-neue-regierung/>
- Uber Investor (2020): *Aurora is acquiring Uber's self-driving unit, Advanced Technologies Group, accelerating development of the Aurora Driver*. Abgerufen am 25.02.2021, von: <https://investor.uber.com/news-events/news/press-release-details/2020/Aurora-is-acquiring-Ubers-self-driving-unit-Advanced-Technologies-Group-accelerating-development-of-the-Aurora-Driver/default.aspx>
- Verband der TÜV e.V. (Hg.) (2020): *Sicherheit und Künstliche Intelligenz. Erwartungen, Hoffnungen, Emotionen*. Berlin. Abgerufen am 25.02.2021, von: <https://www.vdtuev.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1401&token=d0ac0228e1aef8e212830e6303dbc662b09fd3c9>
- VISSER, BETH; ASHTON, MICHAEL; VERNON, PHILIP (2006): *Beyond G: Putting Multiple Intelligences Theory to the Test*. In: Intelligence 34. S. 487-502.
- VUORIKARI, RIINA; PUNIE, YVES; CARRETERO, STEPHANIE; VAN DEN BRANDE, LIEVE (2016): *DigComp 2.0. The digital competence framework for citizens*. Luxembourg: Publications Office.

- WAHLSTER, WOLFGANG (2016): *Die Speerspitze der Digitalisierung. Künstliche Intelligenz und ihre Entwicklung*. In: Character. Das Gesellschaftsmagazin der Bethmann Bank. Ausgabe 9. S. 26-29.
- WALLACE, MARSHAL (1987): *Journal of irreproducible Results*. In: Kurzweil, Ray (1993): *KI: Das Zeitalter Der Künstlichen Intelligenz*. Gütersloh Wien: Bertelsmann Club Buchgemeinschaft Donauland (u.a.) S.14.
- KURZWEIL, RAY; YOGESHWAR, RANGA (2016): *Die Intelligenz der Evolution. Wenn Mensch und Computer verschmelzen*. 1. Auflage. Köln: Kiepenheuer & Witsch.
- WEGSCHEIDER, WALTER (2005): *Bestandsaufnahme und Perspektiven der Schulinformatik an Niederösterreichs AHS*. In: Micheuz, Peter (Hg.): *Informatikunterricht an den AHS. Unterricht – Schulversuche – Projekte – Didaktische Konzepte*. Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (bm:uk). CDA Verlag. S. 8-10.
- WEINERT, FRANZ (2014): *Leistungsmessungen in Schulen*. 3. Aktualisierte Auflage. Weinheim Basel: Beltz
- WELLS, MARTHA (2019): *Tagebuch eines Killerbots. Roman*. München: Random House Audio.
- WERBOS, PAUL (1982): *Applications of advances in nonlinear sensitivity analysis*. In: *System modeling and optimization*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 762–770.
- WITTPAHL, VOLKER (Hg.) (2019): *Künstliche Intelligenz. Technologie / Anwendung / Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer.

7.2. Weitere Online-Links

Zuletzt aufgerufen am 14.12.2020:

http://paedpsych.jk.uni-linz.ac.at/paedpsych/netschule/netschuleliteratur/PC_NEWS/Informatik3.html

Alle folgenden zuletzt aufgerufen am 25.02.2021:

<http://www.coli.uni-saarland.de/projects/sfb378/negra-corpus/sentno3.html>

<https://answergarden.ch/1746629>

<https://community.eeducation.at/digicheck/#choose&ui-state=dialog>

<https://course.elementsofai.com/de/>

<https://digikomp.at>

<https://digikomp.at/index.php?id=530>

<https://edlris.ist.tugraz.at>

<https://edu.ecdl.at/module-schule>

https://github.com/CodingTrain/website/tree/main/CodingChallenges/CC_079_Number_Guessing_Chatbot/P5

<https://informatik.univie.ac.at/studium/studienangebot/lehramt/#c1339>

<https://onlinecampus-server.at/edlris/>

<https://openie.allenai.org#>

<https://peat.technology>

<https://pICTURE.ai>

<https://scratch.mit.edu>

<https://spike.covid-19.apps.allenai.org/datasets/covid19/search#welcome>

<https://unidata.gv.at/>

<https://www.ahs-informatik.com/informatik-5-klasse/>

<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/bef/bist/bildungsstandards.html>

https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/lp/lp_ahs.html

<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulsystem/sa/ahs.html>

<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/dgb.html>

<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/zrp/dibi/dgb.html>

<https://www.botlibre.com/>

<https://www.dwds.de/wb/>

<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

<https://www.gbv.de/front-page>

<https://www.idmt.fraunhofer.de/de/institute/projects-products/projects/acme.html>

<https://www.kewazo.com>

<https://www.masswerk.at/elizabot/>

<https://www.microsoft.com/de-at/windows/windows-7-end-of-life-support-information>

<https://www.ocg.at/de/edlris>
<https://www.pandorabots.com/pandora/talk?botid=b8d616e35e36e881>
<https://www.rivescript.com>
<https://www.schulbuchaktion.at/index.html>
<https://www.wissenschaftsjahr.de/2019/jugendaktion/>
<https://www.youtube.com/watch?v=3wLqsRLvV-c>
<https://www.youtube.com/watch?v=D0MD4sRHj1M>

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Perceptron	25
Abbildung 2: Periodensystem der KI (Hammond 2016, S. 15)	28
Abbildung 3: Hype Cycle (Gartner 2020)	30
Abbildung 4: Zeitstrahl wichtigster Ereignisse	32
Abbildung 5: KI in Schulbüchern, Beispiel 1	60
Abbildung 6: KI in Schulbüchern, Beispiel 2	61
Abbildung 7: Chatbot – index.html – Teil 1	76
Abbildung 8: Chatbot – index.html – Teil 2	77
Abbildung 9: Chatbot - script.js	77
Abbildung 10: Chatbot - brain.rive	78
Abbildung 11: Chatbot - Beispielsatz	79
Abbildung 12: Allen Institute for AI - Search over covid19	80
Abbildung 13: Machinelearningforkinds: Label	81
Abbildung 14: Machinelearningforkinds: Lernmaske	82
Abbildung 15: Scratch	82
Abbildung 16: Machinelearningforkinds: Neuronales Netz	83