

## KI und Maschinelles Lernen am Beispiel der Neuronalen Netze

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

zunächst möchte ich feststellen, dass ich mich freue, mal wieder an alter Stätte in dieser Hochschule einen Vortrag zu halten. Mein Kollege Manfred Feiler und ich haben – natürlich mit intensiver Hilfe vieler Angehörigen der Hochschule und der Stadt Göppingen – diesen Hochschulstandort von 1989 bis 1992 aufgebaut, der jetzt über 30 Jahre existiert mit fast 1000 Studierenden . Damals haben wir sehr intensiv mit dem Göppinger Hochbauamt unter Leitung von Herrn Baubürgermeister Schuckenböhmer zusammengearbeitet, der auch diese Aula gestaltet hat und ich finde immer noch, dass die Aula gelungen ist.

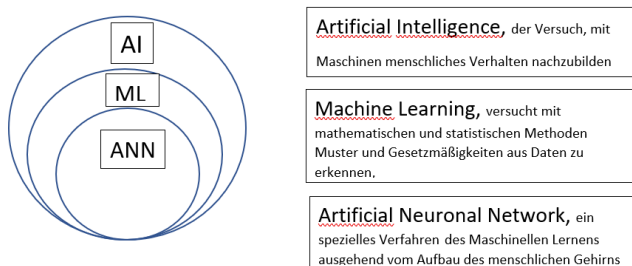
Aber wir wollen jetzt nicht über die Hochschule reden, sondern über „Künstliche Intelligenz“, kurz KI, ein Fachgebiet, das in den letzten 20 Jahren eine unglaublich rasante Entwicklung genommen hat.

An Maschinen, die uns anstrengende, langweilige oder gefährliche Arbeiten abnehmen, haben wir uns gewöhnt. Aber Maschinen, mit denen wir sprechen können, die uns bedienen, die uns pflegen, Maschinen, die ein bisschen so sind wie wir, das ist für viele Menschen schwer vorstellbar, für manche ein Horror, für andere wünschenswert.

Besonders auf Grund der rasanten Entwicklung der Computertechnologie hat KI einen starken Wachstumsimpuls bekommen und es gibt schon heute eine kaum zu überblickende Anwendungsvielfalt auf den verschiedensten Gebieten der Medizin, Finanz- und Versicherungswesen, Maschinenüberwachung, Personalwesen, Textauswertungen, Übersetzungsprogramme, Bilderkennung, ... . Maßgebliche Treiber dieser Entwicklung sind Google, Amazon, Apple, Facebook, IBM, ... .

Einen sehr groben Überblick über das Gebiet der KI zeigt das folgende Bild:

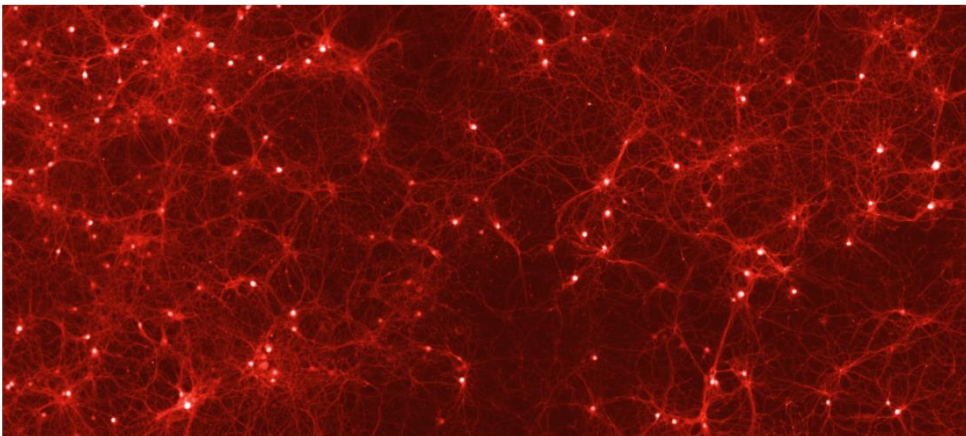
Bild 1



Quelle: SuperDataScience

Ausgehend von den Untersuchungen am menschlichen Gehirn simuliert man im Computer Nervenzellen – sogenannte Neuronen – und vernetzt diese Neuronen untereinander, so wie es nach den aktuellen Untersuchungen im Gehirn ebenfalls angelegt ist. In unserem Gehirn befinden sich ca. 90 - 100 Milliarden solcher Neuronen, die miteinander vernetzt sind.

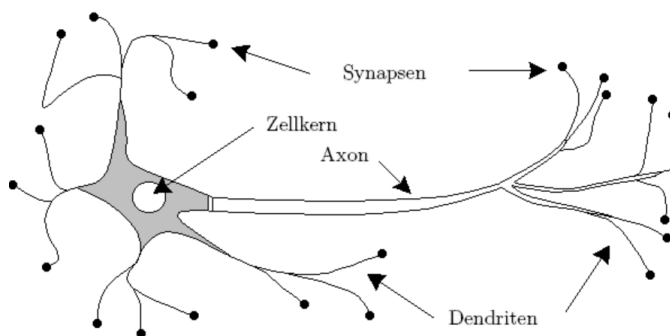
**Bild 2:**



Quelle: Wikipedia

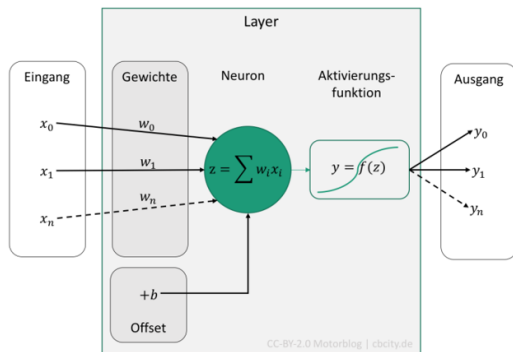
Nun wollen wir uns ein einzelnes Neuron etwas genauer anschauen:

**Bild 3:**



Quelle: Wikipedia

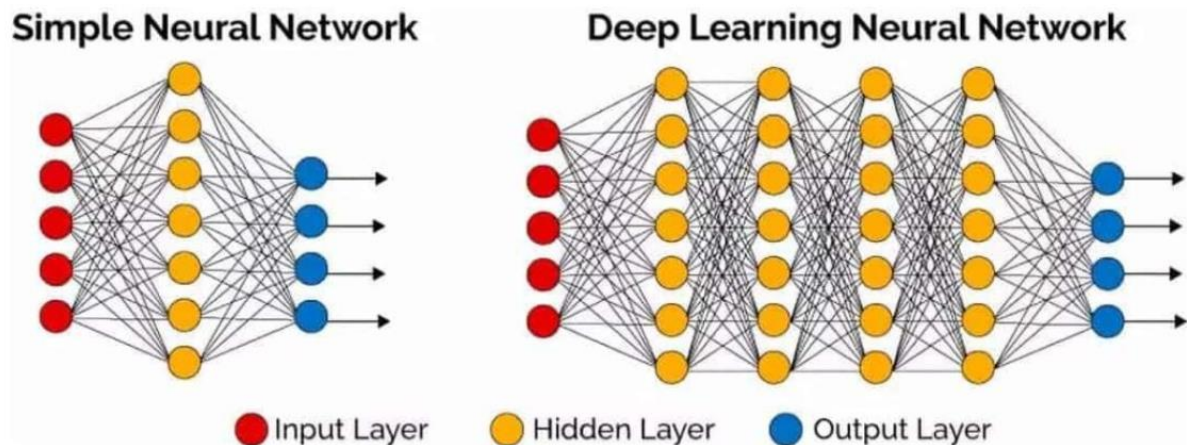
## Perceptron



Quelle: Wikipedia

Wenn wir jetzt aus den einzelnen Neuronen ein Netzwerk bilden, so wie es im Gehirn angelegt ist, dann sieht das – sehr vereinfacht – folgendermaßen aus:

Bild 4:

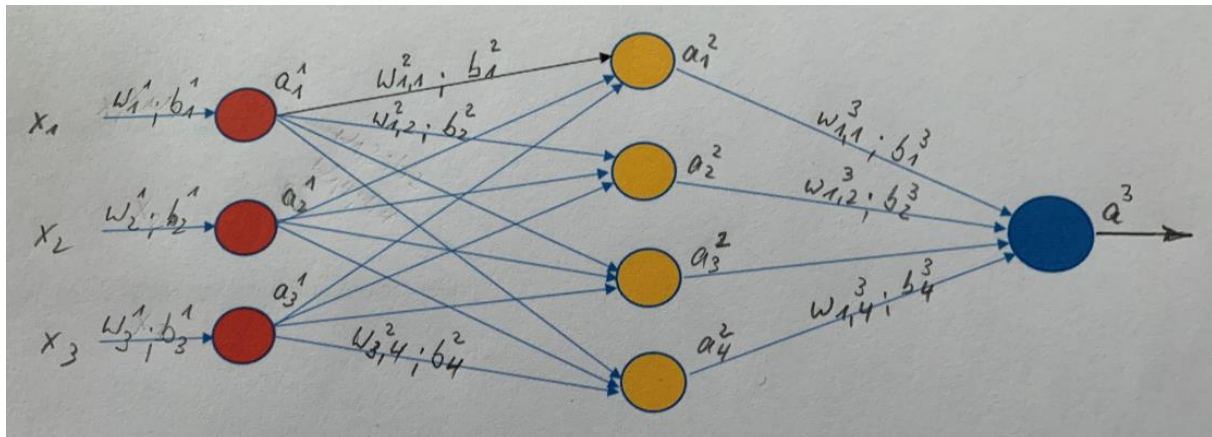


Auf jeder der hier dargestellten Verbindungen verläuft ein Signal, das mit einem Faktor  $w$  und einen Biaswert  $b$  gewichtet wird. Das können in der Summe sehr viele Werte sein.

Mathematisch lässt sich eine solche Struktur des oben abgebildeten Netzwerks relativ gut nachbilden. Man arbeitet hier mit Vektoren, Matrizen und Tensoren.

Aber wie lernt ein solches Neuronen-Netzwerk? Wie kann man sich das vorstellen?

**Bild 5:**



Input-Layer

Hidden-Layer

Output-Layer

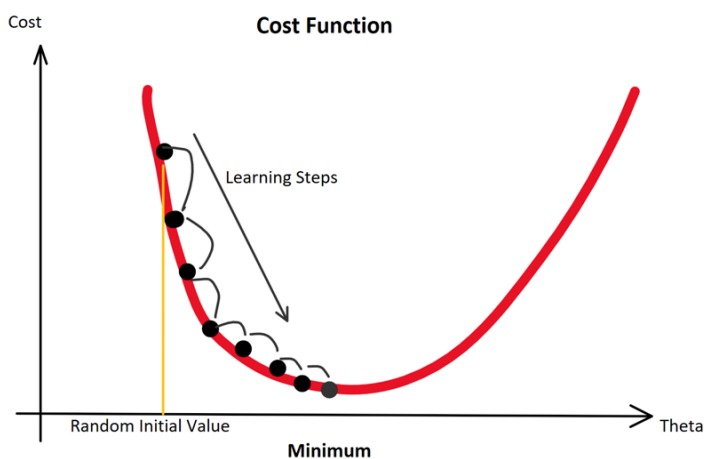
Nehmen wir an, das System soll lernen, zwischen einem Apfel und einer Banane zu unterscheiden. Wir geben also Merkmale einer Banane, z. Bsp. krumm, gelb, weich, in das System, beim Apfel entsprechend rund, rot, hart. Diese Merkmale müssen wir in Zahlen codieren, denn ein Computer kann nur mit Zahlen arbeiten, aber das ist kein Problem. Diese in Zahlen verwandelten Merkmale werden in die Input-Schicht (Input-Layer) eingegeben, werden mit den Gewichtungsfaktoren multipliziert und die Biaswerte werden hinzuaddiert. Dann laufen diese Zahlen über die Aktivierungsfunktionen der Neuronen, dann über die Axone der Neuronen in die nächste Neuronen-Schicht usw. Immer wieder werden diese Signale auf ihren Wegen von den jeweiligen Gewichtungsfaktoren und den Biaswerten beeinflusst. So geht es durch das gesamte Netz. Am Ende erhalten wir ein Ausgangssignal des Netzes. Wenn wir die Merkmale eines Apfels eingegeben haben, soll am Ausgang eine 1 herauskommen, haben wir die Merkmale einer Banane eingegeben, soll am Ausgang eine 0 erscheinen. Da wir ja zunächst wissen, ob wir Apfel- oder Bananenmerkmale eingegeben haben, können wir den berechneten Ausgangswert mit dem wahren Wert vergleichen und stellen z. Bsp. einen

Fehler fest, d.h. das Modell ist fehlerhaft; wir müssen es verbessern. Woran können wir drehen, um das Modell besser zu machen? Nun, an den Gewichtungsfaktoren und an den Biaswerten. Das tun wir aber nicht irgendwie zufällig, sondern nach einem sinnvollen Prinzip.

Der Fehler, den wir am Ausgang unseres Netzwerks erhalten, berechnet sich aus der Subtraktion der berechneten Ausgangsgröße des Netzwerks – in unserem Fall  $a^3$  – und dem wahren Wert 0 oder 1, den wir ja kennen. Die Ausgangsgröße  $a^3$  berechnet sich aus den Signalen und aus den Gewichtungsfaktoren und Biaswerten der davor liegenden Schicht. In welche Richtung müssen wir die Gewichtungsfaktoren und Biaswerte drehen, damit der Fehler kleiner wird?

Hierzu ein anschauliches Beispiel:

### Bild 6:



Das erreichen wir relativ leicht mit Hilfe der Mathematik, indem wir die sogenannten partiellen Ableitungen des Fehlers in Bezug auf die Gewichtungsfaktoren  $w$  und Biaswerte  $b$  bilden und die Werte in Richtung eines kleineren Fehlers verändern.

Die Kettenregel der partiellen Differentialgleichungen erlaubt es sogar, die Ableitungen der davor liegenden Schichten zu berechnen und damit auch die  $w$ 's und  $b$ 's der davor liegenden Schichten in Richtung kleinerer Fehler zu verändern. Man nennt diese Methode die „Backpropagation“, weil man den Ausgangsfehler nutzt, um alle Gewichtungsfaktoren und Biaswerte der davor liegenden Schichten im Sinne eines kleineren Fehlers bis zur Eingangsschicht zu verändern.

Also, nach jeder Feststellung eines Fehlers verändern wir alle Gewichtungsfaktoren und Biaswerte in dem oben beschriebenen Sinne und wir geben nun die Merkmale des Apfels oder der Banane erneut ein und machen einen neuen Durchlauf. Wir stellen wieder einen Fehler fest, der aber hoffentlich kleiner geworden ist und verbessern die Gewichts- und Biaswerte erneut und starten einen weiteren Durchlauf, usw, bis der Fehler klein genug geworden ist.

Einen Berechnungsdurchlauf nennen wir eine Epoche und oft benötigt man tausende Epochen, um den Fehler zu minimieren. Wenn es gelingt, den Fehler, also die Differenz zwischen wahrem und errechnetem Wert, immer kleiner zu machen, dann haben wir erreicht, dass das Modell gelernt hat, zwischen einem Apfel und einer Banane zu unterscheiden. Vielleicht kann man das ein wenig mit dem Lernen eines Kindes vergleichen, das langsam lernt, eine Katze von einem Hund zu unterscheiden dadurch, dass die Mutter immer wieder die Aussagen des Kindes korrigiert, bis es immer sicherer einen Hund von einer Katze unterscheiden kann.

Ein sehr anschauliches Beispiel zur Darstellung des Lernvorgangs einfacher Neuronaler Netze finden Sie unter:

<https://playground.tensorflow.org/>

Ich möchte Ihnen nun zeigen, wie das Verfahren des ANN an einem sehr einfachen realen Beispiel funktioniert. Alle Beispiele, die ich heute Abend vorführe, sind in Python geschrieben. Python ist eine sehr beliebte Programmiersprache für den wissenschaftlichen Bereich, insbesondere für KI. Eine sehr übersichtliche Methode, Python-Programme auszuführen, bietet das Jupyter-Notebook von der Non-Profit-Organisation [Project Jupyter](#), das 2015 veröffentlicht wurde. Es ist kostenlos vom Netz herunterzuladen, wie Python übrigens auch.

### **Beispiel 1: 50 Start-Ups**

Im vorgeführten Beispiel 1 wurde gezeigt, wie ein ANN (Artificial Neuronal Network) arbeitet. Anhand von Daten von 50 Start-Ups konnte das ANN lernen aus den Werten der Vergangenheit den Profit des kommenden Jahres zu berechnen.

### Beispiel 2: Handgeschriebene Zahlen erkennen

Schüler und Studenten in den USA haben 70.000 Zahlen zwischen 0 und 9 geschrieben; diese wurden fotografiert und die Bilder wurden in eine Bilddatei gestellt mit den jeweiligen richtigen Zahlen dahinter(MNIST-Datei). Ein ANN soll lernen, diese Zahlen anhand der Bilder richtig zu erkennen.

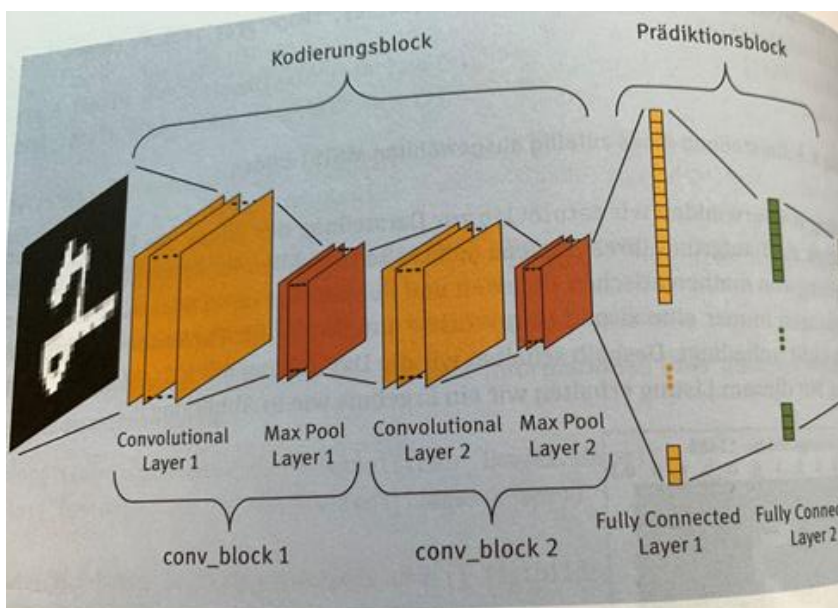
Diese Zahlen sind um das Jahr 2005 erschienen und es wurde ein Wettbewerb ausgeschrieben, wer das beste ANN-Modell entwickelt. Heute gibt es sehr interessante KI-Modell – nicht nur ANN's – die eine erstaunlich kleine Fehlerrate bei der Erkennung dieser Zahlen aufweisen.

### Beispiel 3: Malaria-Bestimmung mit CNN (Convolutional Neuronal Network)

Ein ganz breites Anwendungsfeld der Neuronalen Netze ist die Erkennung von Gegenständen auf Bildern. Dieses spezielle Verfahren, basierend auf den Gebieten Neuronale Netze und Computer Vision, ist das sogenannte Convolutional Neuronal Network (CNN). Es geht darum, Objekte auf Bildern zu erkennen und richtig einzuordnen. Denken Sie an „Autonomes Fahren“, da muss man Fußgänger, Autos, Motorradfahrer, Verkehrsschilder ... auf Bildern sehr schnell erkennen. Oder denken Sie an Gesichtserkennungen im öffentlichen Raum; hier sind chinesische Firmen sehr stark.

CNN's arbeiten nach folgendem Prinzip:

**Bild 7:**



Quelle: J. Steinwender, R. Schwaiger; Neuronale Netze programmieren

Man schiebt ein Filter – ein kleines Fenster - von 5 x 5 Pixel über das Bild und dieses Filter ist so konfiguriert, dass es z. Bsp. Senkrechte Linien auf dem Bild erkennt. Dann nehmen wir ein zweites anderes Filter, das waagerechte Linien erkennt, dann ein weiteres Filter das Rundungen erkennt, usw. , insgesamt 32 verschiedene Filter; wir bilden also 32 sogenannte Feature-Maps. Das bedeutet sehr viele Daten und mit einem sogenannten Max-Pooling-Verfahren verkleinern wir die Datenmenge, indem wir nur die ausgeprägtesten Merkmale des Bildes weitergeben. Dann bilden wir einen neuen Convolutional-Block mit vielleicht 16 Feature-Maps und verdichten die Informationen erneut durch Max-Pooling. Jetzt bringen wir die Daten in eine Form, die ein normales ANN verarbeiten kann und damit haben wir ein CNN aufgebaut. Sie verwenden vielleicht auf Ihrem Handy ein Bildverarbeitungsprogramm, mit denen Sie Bilder verändern, z.Bsp. heller, dunkler, schärfer machen können; diese Bildverarbeitungsprogramme nutzen das oben beschriebene Verfahren.

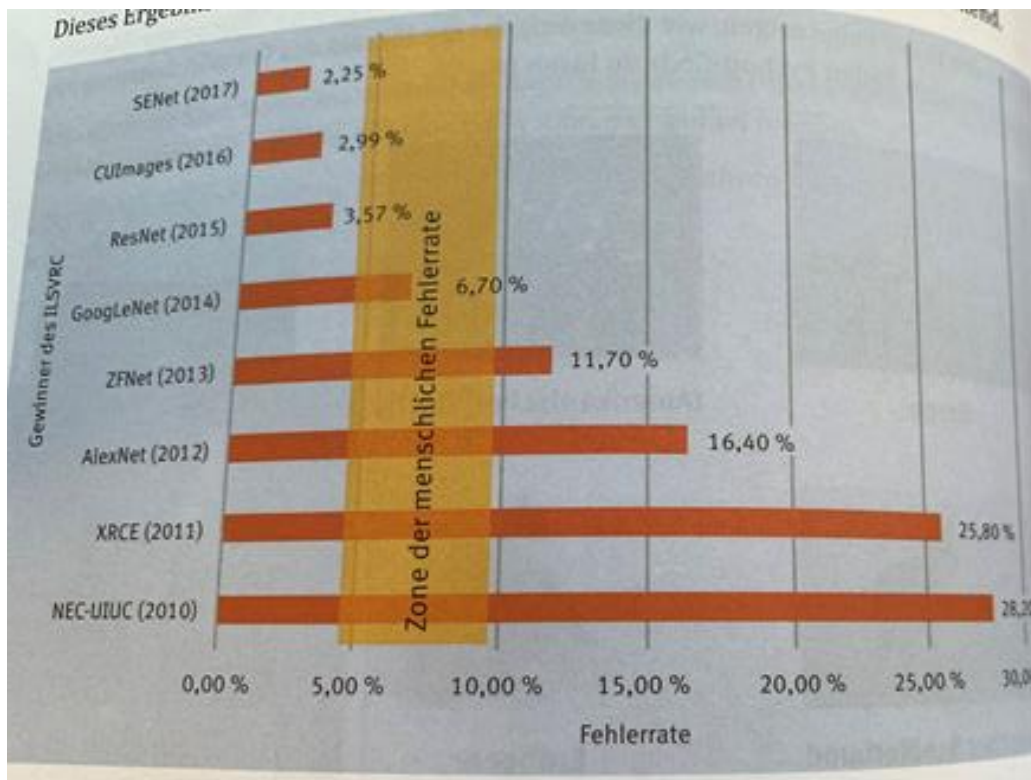
Aus einer Datenbank wurden 25.000 Bilder gesunder und malariabehafteter roter Blutkörperchen in den Rechner geladen und das CNN sollte lernen, kranke Zellen zu erkennen und entsprechend anzuzeigen. Das CNN erkannte nach kurzer Lernphase 98% der kranken Zellen richtig.

### **Beispiel 3: Das trainierte CNN Intercept 3**

Die Stanford-University stellte im Jahre 2010 eine Bilddatei mit 150.000 Bildern zur Verfügung, die 1000 Gegenständen aus dem Alltagsleben zeigen, Häuser, Landschaften, Autos, Tische, Stühle, ... . Dann schrieb die Universität einen Wettbewerb aus, diese 1000 Gegenstände auf den Bildern zu erkennen. Es beteiligten sich Firmen und wissenschaftliche Institute und es wurden innerhalb des Wettbewerbs verschiedene CNN's entwickelt; eine Auswahl und die erreichten Genauigkeiten sehen Sie hier:

### **Bild 8:**





Quelle: J. Steinwender, R. Schwaiger; Neuronale Netze programmieren

Dieses CNN-Modell Intercept 3 wurde im Vortrag getestet mit dem Bild einer Tasse. Diese Tasse hatte ich aus unserem Geschirrschrank herausgeholt, mit meinem Handy fotografiert und in das Modell eingegeben. Nach einigen Millisekunden erschien das Ergebnis:

- Zu 67% handelt es sich um eine Tasse
- Zu 25% handelt es sich um eine Suppentasse
- Zu 8% handelt es sich um einen Mixbecher.

Ein erstaunlich gutes Ergebnis.

#### Beispiel 4: Recurrent Neuronal Networks (RNN)

Eine ganz wichtige weitere Ausprägung eines Neuronales Netzes muss ich noch erwähnen, es ist das sogenannte Recurrent Neuronal Network (RNN). Was hat es damit auf sich? Folgende Aufgabenstellung:

Die Verkaufszahlen in einem Geschäft wurden in den letzten Jahren monatlich aufgezeichnet und man möchte gerne wissen, wie sich die Verkaufszahlen in den nächsten Monaten entwickeln werden. D.h., wir haben eine zeitliche Folge von Werten aus der Vergangenheit und möchten die Zukunft vorhersagen. Um

solche Zukunftswerte zu berechnen, werden RNN's eingesetzt. Dabei ist die Vorgehensweise ähnlich zum ANN: aus den Werten der Vergangenheit versucht das Modell Regelmäßigkeiten im zeitlichen Verlauf zu erkennen.

### **Beispiele aktueller Anwendungen:**

- ANNs werden eingesetzt, um Spam-Nachrichten im Rechner zu erkennen und entsprechend auszusortieren
- ANNs werden eingesetzt, um bestimmte Inhalte von Texten zu erkennen. Z. Bsp. werden Bewertungen in der Presse von NetFlix-Filmen automatisch mit ANNs ausgewertet
- Recyclebarer Kunststoff-Abfälle auf Laufbändern werden von CNNs erkannt und von Robotern herausgenommen
- Auf Grund von Daten aus der Vergangenheit werden Maschinenausfälle durch RNNs vorzeitig prognostizieren und eine Wartung kann eingeleitet werden
- Anhand von Daten aus der Vergangenheit berechnen Banken bei der Kreditvergabe mit ANNs die Wahrscheinlichkeit, ob der Kunde den Kredit wie vorgeschrieben zurückzahlen wird
- **Diagnosen in der Medizin**  
In der Medizin hilft KI z. Bsp. bei der Analyse von Hautveränderungen, in der Krebstherapie oder bei Aufnahmen aus dem Computertomographen. Die Diagnosen sind dabei oft ebenso gut wie die der Mediziner, manchmal sogar besser. Forscher des Deutschen Krebsforschungszentrums und des Nationalen Zentrums für Tumorerkrankungen in Heidelberg haben 2019 einen Wettbewerb durchgeführt: 157 Hautärzte aus zwölf deutschen Universitätskliniken, vom Assistenz- bis zum Chefarzt, traten gegen ein Künstliches Neuronales Netz an, das mit Bildern von unauffälligen Hautveränderungen und von Hautkrebs trainiert worden war. Die Ärzte mussten jeweils hundert Bilder betrachten und bewerten. Das Programm war besser als 136 der Ärzte. In einer weiteren Studie zeigten die

Forscher\*innen aber auch, dass die Ergebnisse einer Kooperation von Mensch und Maschine noch ein Stück besser sind.

- **Übersetzungsprogramme (Deepl) mit RNN**

Eine andere weit verbreitete Anwendung der KI sind die Übersetzungsprogramme von einer Sprache in die andere. Vielleicht haben Sie einige von diesen Übersetzungsprogrammen schon verwendet, z. Bsp. das Programm DEEPL (Deep Learning). Wie macht der Computer das, denn es ist nicht nur eine Übersetzung Wort für Wort – das wäre einfach, man speichert die entsprechenden Worte in der einen und anderen Sprache und setzt das gefundene Wort ein – nein, so funktioniert das nicht. Die heutigen Übersetzungsprogramme „denken mit“ und übersetzen nicht wortgemäß, sondern sinngemäß. Wundern Sie sich nicht manchmal, dass das Handy – falls sie es entsprechend eingestellt haben – Ihnen die nächsten Worte eines Satzes schon vorschlägt. Wie geht das? Das geht mit KI und speziell mit RNN.

- **Ein KNN-Programm schlägt GO-Weltmeister**

Das japanische Spiel Go gilt als noch schwieriger und vielseitiger als Schach und es hieß, dass wohl nie ein Computer den Weltmeister in Go schlagen wird. Im Jahre 2018 aber hat ein Computerprogramm von IBM Go spielen gelernt und den Weltmeister in Go in einem spannenden Kampf besiegt.

- **Personaleinstellungen**

Die Personalabteilungen in den Firmen haben viele Bewerbungsdaten aus der Vergangenheit und sie kennen die Entwicklung des Mitarbeiters in der Firma. Ein ANN findet die Merkmale der Bewerbungen heraus, die eine positive Karriere im Sinne der Firma wahrscheinlich macht.

- **Krankenversicherungen**

Krankenkassen haben viele Daten der Krankheitsgeschichten von Versicherten über eine lange Zeit, vom Beginn eines ersten Anzeichens einer Krankheit bis zur endgültigen Diagnose. Man könnte ein KNN mit den vorhandenen Daten der Versicherung so trainieren, dass das System

sehr frühzeitig beginnende Krankheiten erkennt und den wahrscheinlichen Krankheitsverlauf der Versicherten anhand von vielen aufgezeichneten Patientendaten prognostiziert, obwohl der Betroffene noch lange nichts davon ahnt. Sind diese Prognosen dem Patienten zuzumuten? Ist die Unterrichtung des Patienten ethisch vertretbar?

#### - **Ein ChatBot als Bürohilfe**

ANNs können trainiert werden, Gespräche in einem begrenzten Anwendungsfeld oder zu bestimmten Themen zu bestreiten. Beispielsweise hat eine Stadt in Norddeutschland Corona-Anfragen zunächst vom ChatBot beantworten lassen (70%); nur bei schwierigeren Fragen wurde das Gespräch an einen menschlichen Experten weitergegeben. Ein eindrucksvolles Beispiel eines ChatBots, der einen Termin in einem Friseursalon vereinbart, finden Sie unter

[Google's AI Assistant Can Now Make Real Phone Calls - YouTube-Video](#)

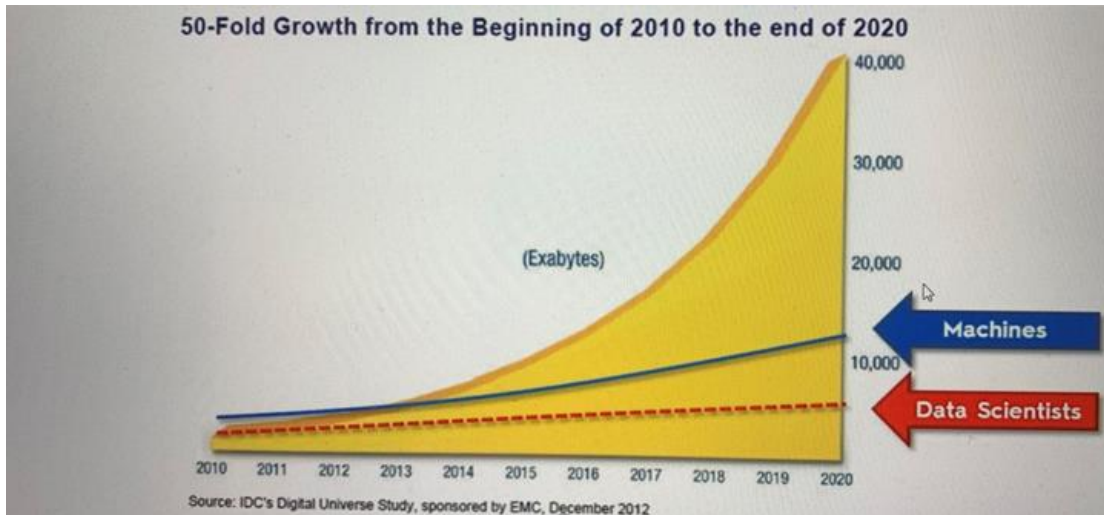
#### - **Kompositionen**

Vor ca. 3 Monaten ging durch die Presse, dass endlich die unvollendete 10. Sinfonie vollendet worden ist. Ein ANN hat anhand von vielen Kompositionen von Beethoven gelernt, in welchem Stil Beethoven komponierte. Nach der Trainingsphase vollendete das ANN die 10. Sinfonie und die erzeugte Komposition klingt wirklich nach Beethoven, aber die Genialität des Komponisten in den Feinheiten der Ausführung fehlt. Ich habe sie mir angehört; begeistert war ich allerdings nicht.

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

was ich Ihnen heute auf meinem bescheidenen kleinen Laptop zeigen konnte, sind nur die Grundbausteine eines Teil-Bereichs der KI. Die großen Player wie Google, Amazon, Facebook, Apple, IBM, Huawei, Microsoft, ... sind schon sehr viel weiter in der Entwicklung der lernenden Systeme, in der Datenaufbereitung und der Datengenerierung. Sie haben doch alle schon erlebt, dass, wenn Sie sich bei Amazon ein Produkt anschauen, Sie am nächsten Tag die Meldung bekommen: "Das könnte Sie auch interessieren" mit entsprechenden Produktvorschlägen. Es wurden und werden von Ihnen mit

entsprechenden KI-Modellen Profile angelegt, die Ihre Interessen, Ihre finanziellen Möglichkeiten und Ihr Kaufverhalten erlernt haben und Sie dann gezielt ansprechen. Um z. Bsp. solche Profile anlegen zu können, benötigt man viele, viele Daten und die Datenmengen, die aktuell in der Welt aufgezeichnet werden, sind unvorstellbar riesig.



1 exabyte (EB) =  $10^{18}$  bytes = 1000000000000000000 bytes =

1,000 petabytes = 1 million terabytes = 1 billion gigabytes

Diese Daten liegen oft ungenutzt und unaufbereitet in Daten-Silos und sind eigentlich sinnlos. Das Potential solcher Daten ist natürlich groß, aber es fehlt an sogenannten „Data-Scientists“, die es verstehen, die Daten aufzubereiten und zu nutzen. Vielleicht ein interessanter Ausbildungszweig für den HS-Standort GP. Die Auswertung solcher riesiger Datenmengen kann ein Mensch nicht mehr bewältigen, dazu benötigt man große Computerkapazitäten. Nehmen wir an, man könnte diese Computerkapazität zur Verfügung stellen und Firmen würden die Auswertungen dieser Daten nutzen, dann hätte wir das z.Zt. diskutierte Modell eines sogenannten „datengetriebenen Unternehmens“.

Entscheidungen in den einzelnen Abteilungen werden dann nicht mehr von Menschen, sondern von Computern auf Grund der vorliegenden Daten getroffen. Diese Form der Unternehmensführung wird gerade in den Fachartikeln stark diskutiert und manche sehen enorme Vorteile für diese Unternehmensführung.

Wenn wir diese Entwicklung etwas weiterdenken – und damit beschäftigen sich heute Philosophen, Ethiker, Sozialwissenschaftler, Zukunftsforscher –

dann stellt sich die Frage: "Gibt es bald die Supercomputer, die die Entscheidungen und die Leitlinien zumindest in der Wirtschaft bestimmen"? Und das wirft die Frage auf: „Nach welchen Kriterien entscheiden die KI-Modelle in diesen Supercomputern"? Können KI-Modelle lernen, moralisch, ethisch, gerecht und wertorientiert zu handeln, also nicht nur im Sinne von Maximierung des Profits?

Die Diskussion ist unter den Experten im vollen Gange und es wird spannend sein zu beobachten, welche Ergebnisse diese Diskussionen bringen werden. Allein das Thema „Autonomes Fahren“, das sich in den nächsten Jahren durchsetzen wird, zwingt uns, hier Regeln aufzustellen.

Meine Damen und Herren, lassen Sie mich noch einen letzten Gedanken äußern, der mich manchmal beschäftigt, der aber mehr in den Bereich Science-Fiction gehört. Die künstlichen neuronalen Netze konnten entwickelt werden, weil wir einen Einblick in den Aufbau des Gehirns bekommen haben. Noch einmal, die entwickelten KI-Modelle stellen niemals auch nur annähernd das menschliche Gehirn dar; das menschliche Gehirn ist viel komplexer. Aber man kann nicht abstreiten, dass die Nachbildung der menschlichen Neuronen und deren Vernetzung im Computer eine gewisse Intelligenz und ein Lernverhalten erzeugen konnte. Den Menschen macht es aus, dass er ein Bewusstsein hat, d.h. ich weiß, dass ich ich bin. Wäre es denkbar, dass dieses Bewusstsein ebenfalls durch eine intelligente, komplizierte Vernetzung mit Milliarden von Neuronen im Gehirn erzeugt wird? Wäre es denkbar, dass eine Nachbildung einer solchen komplexen Struktur in einem Supercomputer möglich wäre? Wenn das möglich wäre – wahrscheinlich ein Hirngespinnst von mir – dann bekämen Supercomputer nicht nur Entscheidungsgewalt, sondern die Computer wüssten auch, dass sie Computer sind. Was würde daraus folgen?

Diese Frage lasse ich jetzt offen und bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.