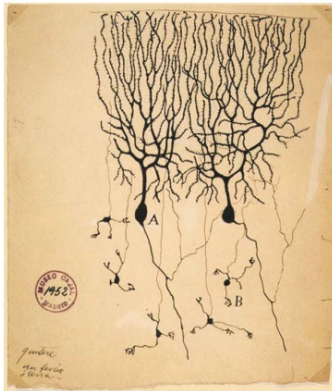


Menschliche Neuronen



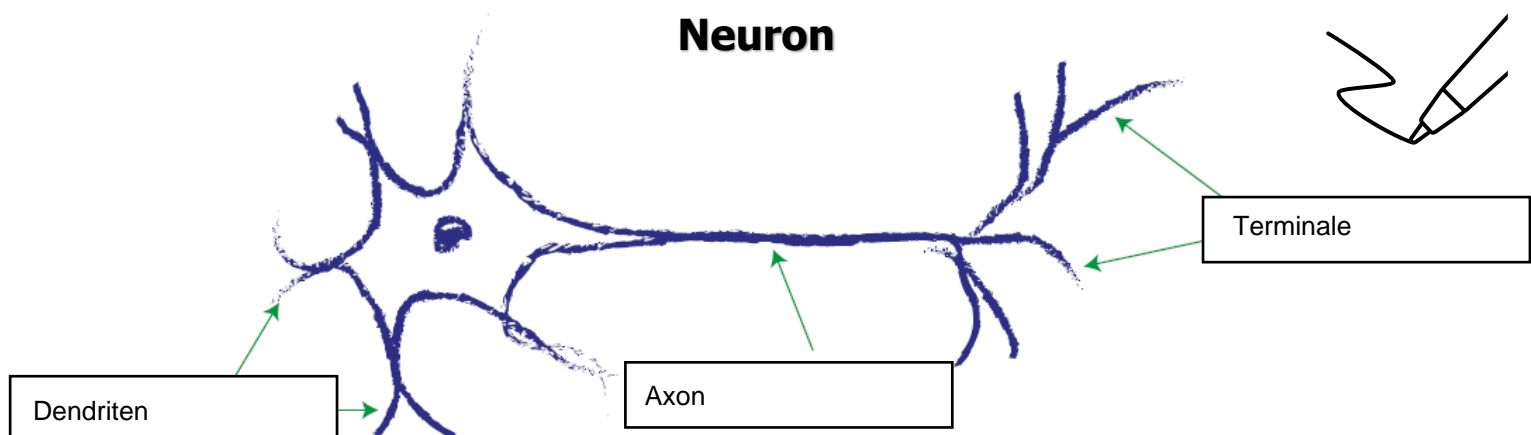
Die Gehirne von Tieren sind beeindruckend. Selbst kleine Exemplare wie das Gehirn einer Taube ist weitaus leistungsfähiger als Digitalcomputer mit einer riesigen Anzahl von elektronischen Verarbeitungselementen, einem riesigen Speicherplatz und Ausführungsgeschwindigkeiten. Während herkömmliche Computer sequenziell Daten nach konkreten Vorschriften abarbeiten, gibt es weder Unschärfe von Mehrdeutigkeit. Es sind aber gerade diese Eigenschaften, die das wesentlich langsamere getaktetes Gehirn von Tieren und auch Menschen in gewissen Situationen deutlich überlegen machen. Die Abbildung links zeigt eine Skizze von Neuronen in einem Taubengehirn, das ein spanischer Neurowissenschaftler bereits 1899 gezeichnet hat. Die wesentlichen Bestandteile – die Dendriten und die Terminale – sind deutlich zu erkennen.¹



Arbeitsauftrag

Der menschliche Körper besteht aus unzähligen Nervenzellen bzw. Neuronen. Sie dienen der Signalübertragung von den Sinnesorganen zum Gehirn und vom Gehirn zu den Organen und Körperperipherie. Es ist nun sinnvoll einen genaueren Blick auf die Struktur der menschlichen Neuronen zu werfen und die die Funktionen kennen zu lernen.

Schauen Sie sich das Video zu den **Nervenzellen (Aufbau und Funktionen)** an und **Beschriften** Sie die Abbildung des Neurons mit den entsprechenden Fachbegriffen.



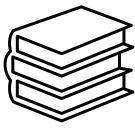
Video – Nervenzellen beim Menschen

<https://t1p.de/kycd>

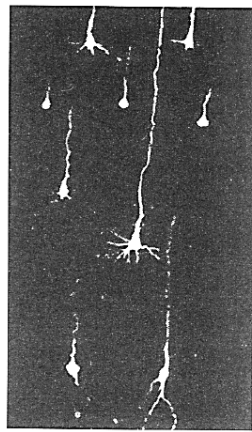


¹ Rashid, Tariq (2017): Neuronale Netze selbst programmieren, Heidelberg, S. 30-37

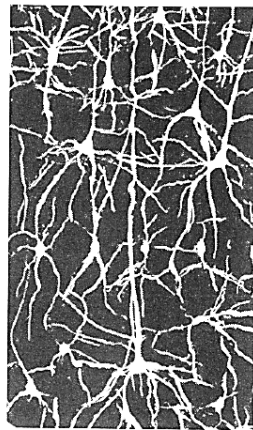
Menschliche Neuronen im Gehirn



Wie viele Neuronen brauchen wir, um interessantere, komplexere Aufgaben zu realisieren? Das sehr leistungsfähige menschliche Gehirn enthält ungefähr 100 Milliarden Neuronen! Diese sind jedoch nicht sofort nach der Geburt vorhanden. Sondern bilden sich nach und nach. Wir lernen über die Jahre und bauen so unser Gehirn.



Nach der Geburt



Nach 3 Monaten



Nach 15 Monaten



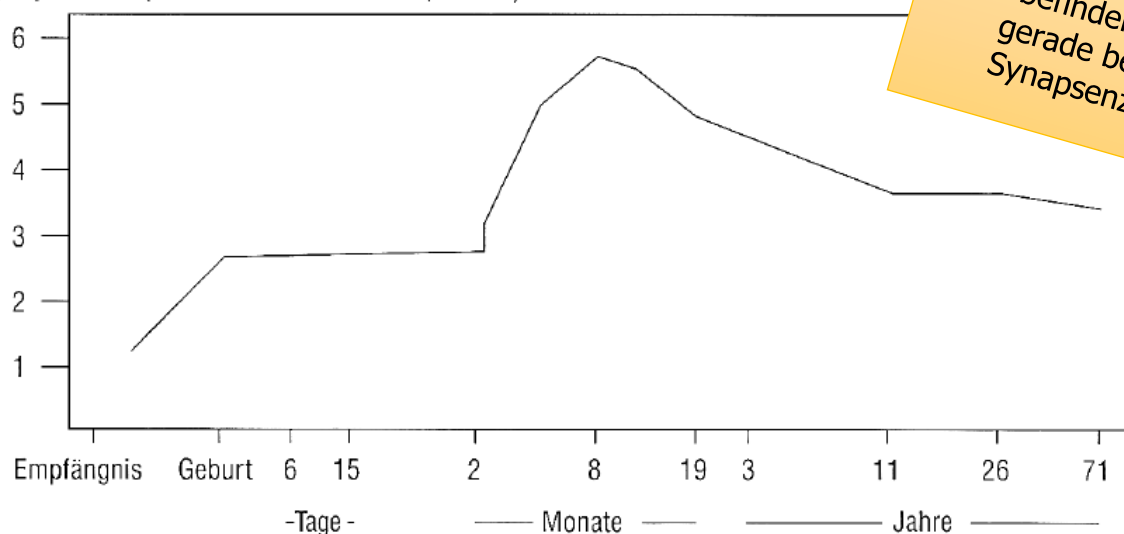
Nach 3 Jahren

Eine Fruchtfliege besitzt lediglich 100.000 Neuronen und ist damit schon in der Lage, zu fliegen, zu fressen, Gefahren auszuweichen, Nahrung zu suchen und viele andere ziemlich komplexe Aufgaben zu erledigen. Da die Anzahl von 100.000 Neuronen im Kapazitätsbereich moderner Computer liegt, könnte man doch versuchen, ein solches Gehirn nachzubilden.

Ein Fadenwurm hat nur 302 Neuronen, was verschwindend gering ist, verglichen mit den Ressourcen heutiger Digitalrechner! Doch dieser Wurm kann einige recht nützliche Aufgaben bewältigen, mit denen herkömmliche Computerprogramme von viel größerem Umfang nicht zu recht kämen.

Die neuronale Verknüpfung von Nervenzellen zur Informationsübertragung nennt man Synapsen. Auch die Synapsenzahl unterliegt Veränderungen, was man der folgenden Abbildung entnehmen kann.

Synapsenzahl (in 100 Milliarden = 10^{11} pro cm^3)



Wo befinden Sie sich gerade bei der Synapsenzahl?

(Rüdel 2010, 27)

Von biologischen Neuronen zum künstlichen neuronalen Netz (KNN)


Nun wollen wir ausgehend von biologischen Neuronen ein künstliches neuronales Netz entwickeln.

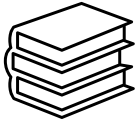


Arbeitsauftrag

a) **Lesen** Sie sich den folgenden Text vom *Rashid* durch. **Tauschen** Sie sich anschließend mit Ihrem **Sitznachbarn** über das Gelesene aus. **

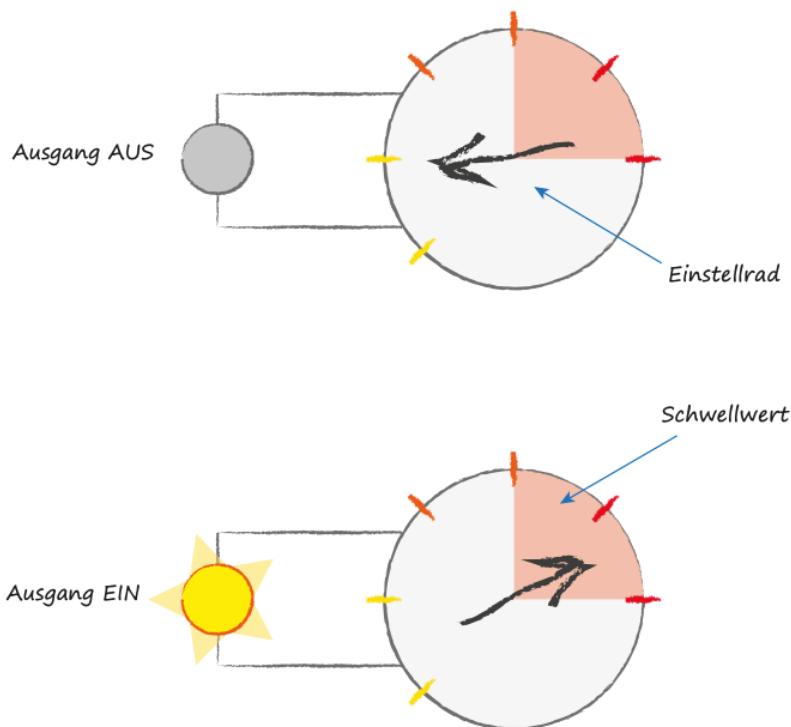
b) **Beantworten** Sie gemeinsam folgende **Fragen schriftlich**:

1.	Wozu dient der Schwellenwert?	Gibt an, wann ein Signal übertragen wird.
2.	Warum werden KNN mit einer Aktivierungsfunktion modelliert?	Um die Eingangssignale zu akkumulieren und die Signalübertragung zu simulieren.
3.	Was ist der Vorteil der Sigmoidfunktion gegenüber der Stufenfunktion?	 vs. → Die Natur kennt keine Sprünge! → s-förmiger Verlauf gut geeignet, um Neuronen mathematisch abzubilden
4.	Erklären Sie, warum die Anzahl oder Größe der Eingänge nicht unbedingt etwas darüber aus, wann und ob ein Neuron „feuert“.	Wenige Eingangssignale mit größerem Gewicht können ebenso zu einer Signalübertragung führen wie viele Eingangssignale mit kleinerem Gewicht.

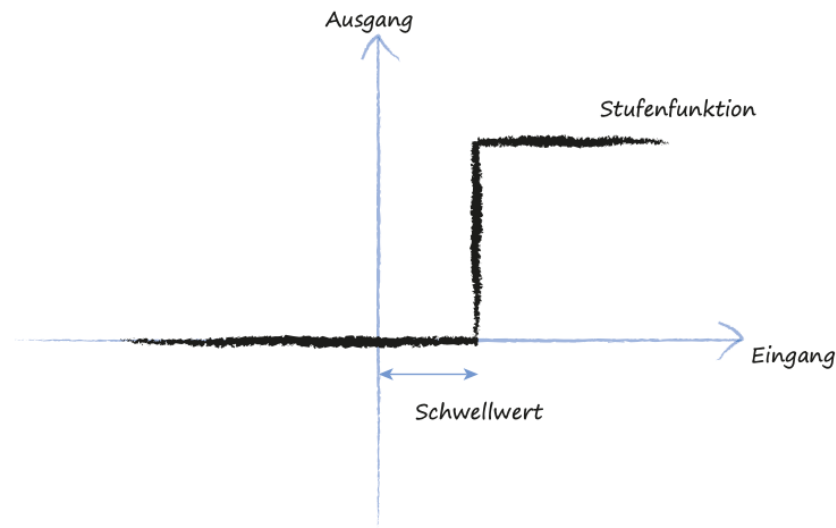


Die vollständige Funktionsweise von Gehirnen, wie zum Beispiel des Bewusstseins, ist immer noch ein Geheimnis. Doch weiß man inzwischen genügend über Neuronen, um auf verschiedene Arten der Verarbeitung schließen zu können.

Sehen wir uns nun an, wie ein Neuron funktioniert. Es übernimmt ein elektrisches Eingangssignal und gibt ein anderes elektrisches Signal aus. Beobachtungen legen nahe, dass Neuronen nicht sofort reagieren, sondern stattdessen die Eingabe unterdrücken, bis sie ausreichend groß ist, um ein Ausgabesignal auszulösen. Man kann sich dies als Schwellwert vorstellen, der erreicht sein muss, bevor irgendein Ausgabesignal entsteht. Vergleichbar ist das mit Wasser in einer Tasse – das Wasser läuft erst über, wenn die Tasse vollkommen gefüllt ist. Intuitiv ist das sinnvoll – die Neuronen sollen winzige Rauschsignale nicht durchlassen, sondern nur ausdrücklich starke, gewollte Signale.



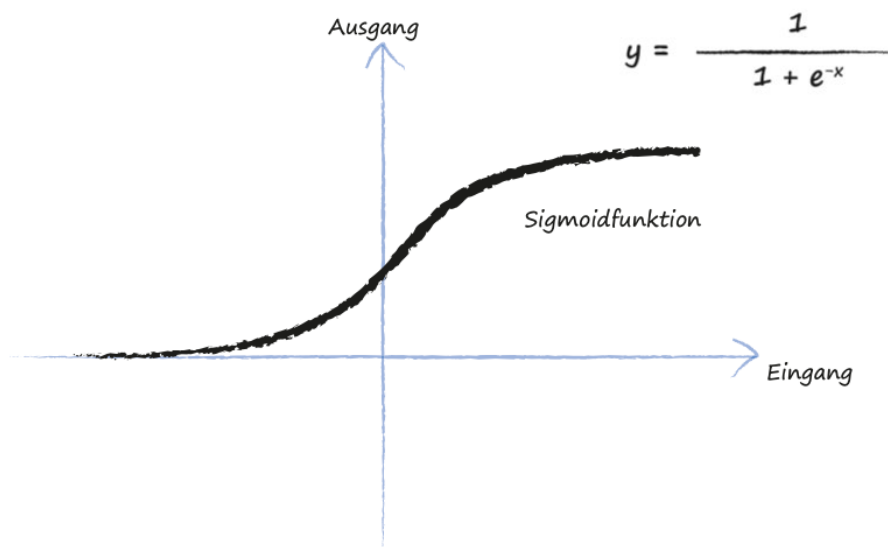
Eine Funktion, die das Eingangssignal übernimmt und ein Ausgangssignal generiert, dabei aber eine Art Schwellwert berücksichtigt, wird Aktivierungsfunktion genannt. Im mathematischen Sinne gibt es viele derartige Aktivierungsfunktionen, die diesen Effekt erzielen. So ist das mit einer einfachen Stufenfunktion zu erreichen.



Wie aus dem Diagramm hervorgeht, ist bei kleinen Eingabewerten die Ausgabe null. Nachdem aber die Eingabeschwelle erreicht ist, geht die Ausgabe sprunghaft nach oben. Ein künstliches Neuron, das sich so verhält, wirkt fast wie ein reales biologisches Neuron. Der von Wissenschaftlern verwendete Begriff beschreibt dieses Verhalten treffend: Sie sagen, dass Neuronen feuern, wenn die Eingabe den Schwellwert erreicht.

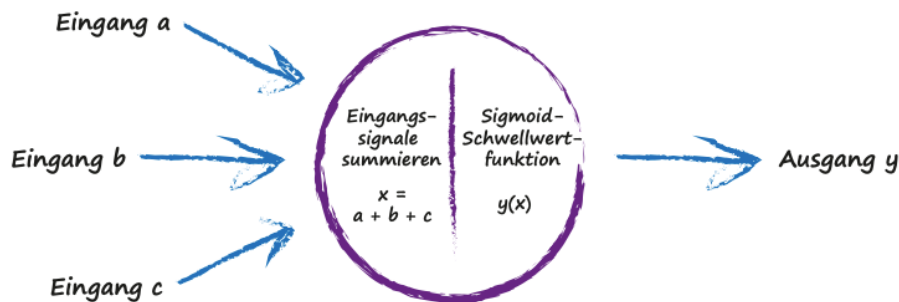
Die Stufenfunktion lässt sich noch verbessern. Die s-förmige Funktion wird als Sigmoidfunktion bezeichnet. Sie verläuft sanfter als die abrupte Stufenfunktion, was sie natürlicher und realistischer macht – »natura non facit saltus« (die Natur macht keine Sprünge).

Eine solche sanfte s-förmige Sigmoidfunktion werden wir fortan für unsere eigenen neuronalen Netze verwenden. Forscher auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz nehmen auch andere, ähnlich aussehende Funktionen, die Sigmoidfunktion ist aber einfach und tatsächlich sehr gebräuchlich, sodass wir uns in guter Gesellschaft befinden.



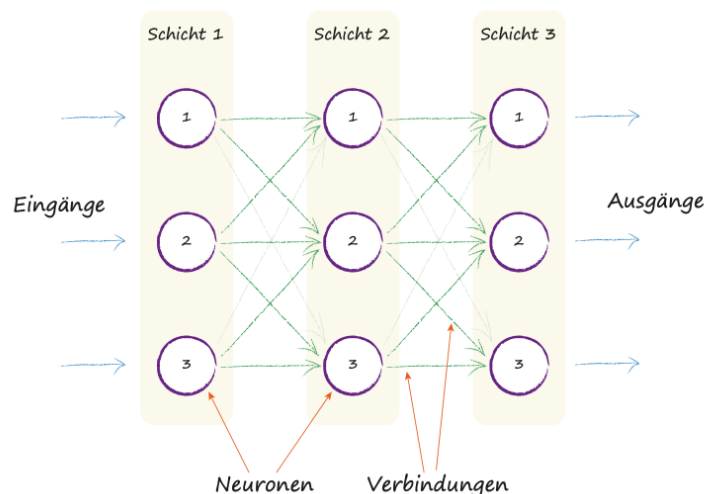
Kommen wir zu den Neuronen zurück und überlegen wir, wie sich ein künstliches Neuron modellieren lässt. Zunächst ist festzustellen, dass reale biologische Neuronen viele Eingaben und nicht nur einen einzelnen Eingabewert übernehmen.

Was stellen wir mit all diesen Eingaben an? Wir kombinieren sie, indem wir sie addieren. Die resultierende Summe geht als Eingabe an die Sigmoidfunktion, die die Ausgabe steuert. Dies spiegelt die Arbeitsweise von realen Neuronen wider.



Wenn das kombinierte Signal nicht groß genug ist, unterdrückt die sigmoidale Schwellwertfunktion das Ausgangssignal. Ist die Summe x ausreichend groß, bewirkt die Sigmoidfunktion, dass das Neuron feuert. Interessant ist Folgendes: Wenn nur einer von mehreren Eingängen groß ist und die übrigen Eingänge lediglich einen geringen Beitrag leisten, kann das bereits genügen, damit das Neuron feuert. Darüber hinaus kann das Neuron auch feuern, wenn einige der Eingänge für sich genommen ziemlich, aber nicht ausreichend groß sind, in der Summe aber ein Signal ergeben, das die Schwelle überwinden kann. Dies liefert einen ersten Eindruck von den komplexeren, in gewissem Sinne unscharfen Berechnungen, die derartige Neuronen realisieren können.

Die elektrischen Signale werden von den Dendriten gesammelt, und diese wirken zusammen, um ein stärkeres elektrisches Signal zu bilden. Wenn das Signal stark genug ist, um die Schwelle zu überwinden, feuert das Neuron ein Signal entlang des Axons zu den Terminalen, um es an die Dendriten der nächsten Neuronen weiterzugeben. Um dieses natürliche Vorbild in einem künstlichen Modell nachzubilden, verwendet man mehrere Schichten von Neuronen, die jeweils zu jedem anderen in der vorhergehenden und nachfolgenden Schicht verbunden sind.²



² Rashid, Tariq (2017): Neuronale Netze selbst programmieren, Heidelberg, S. 30-37