

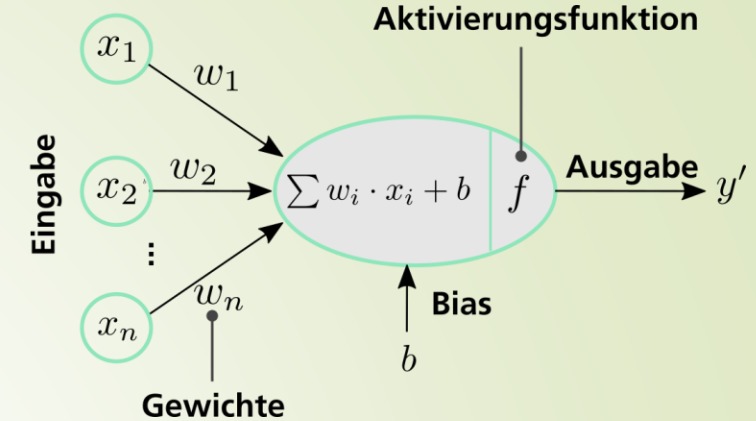
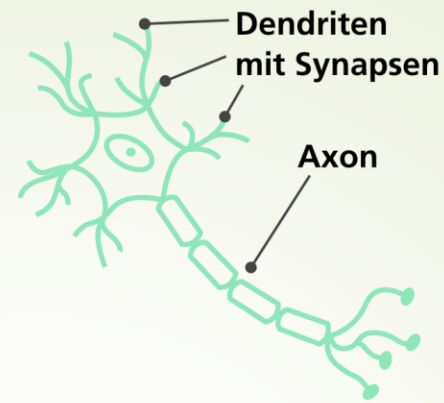


Neuronale Netze (NN)

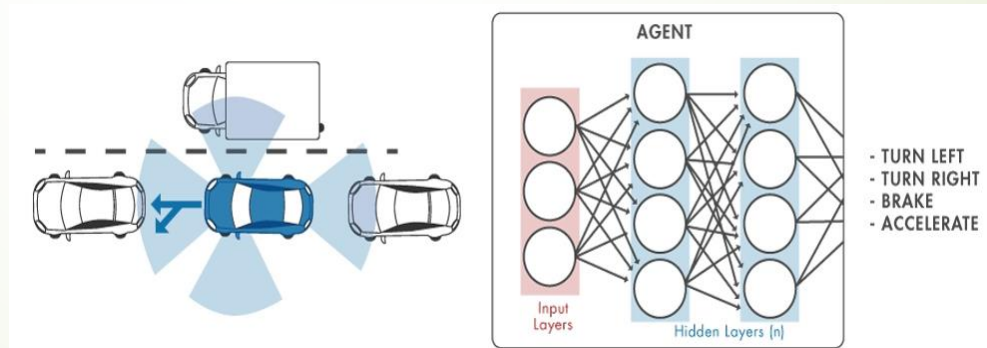
Dr. Ralf Höchenberger

09.01.2025

Neuronale Netze



- Neuronale Netze gehören zu den Konzepten des **überwachten Lernens**, d.h. die **Vorhersagen basieren auf bereits bekannten Mustern**
- **Problem:** Analog zum **menschlichen Gehirn** sollen Neuronale Netze **Inputsignale verarbeiten, aus diesen lernen und neue Daten dann erkennen**, selbst wenn diese von bisherigen Mustern abweichen
- **Anwendungsbeispiele:**
 - **Automatische Bilderkennung**
 - **Autonomes Fahren**



Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Grundidee Neuronaler Netze

- Das menschliche Gehirn erkennt hier eine Giraffe, obwohl es eine solche Giraffe gar nicht gibt!
- Ein künstliches neuronales Netz ist ebenfalls in der Lage, **Objekte auch dann zu erkennen, wenn diese deutlich anders aussehen als gewohnt**



Was sieht man auf diesem Bild?

Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

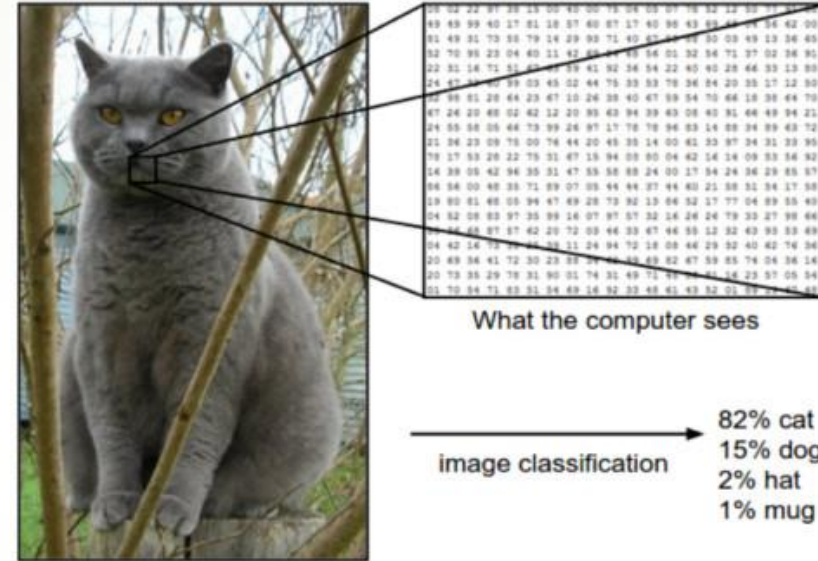
Nutzen Neuronaler Netze

- Neuronale Netze sind u.a. die **Basis der modernen automatischen Bilderkennung**

- sie **übertreffen den Menschen** sowohl in der Geschwindigkeit als auch in der Vorhersagegenauigkeit

- Neuronale Netze gibt es spätestens schon seit den 1990ern, warum ist das Konzept jetzt erst so erfolgreich?

- verbesserte Speicherung und Zugänglichkeit digitaler Daten
- erhöhte Rechenleistung
- neue Algorithmen



Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Beispiel: Erkennen handgeschriebener Zahlen

- Datensatz:
Handgeschriebene Ziffern der MNIST-Datenbank des US-amerikanischen National Institute of Standards & Technology



- Übersetzung von Bildern in Pixeldarstellung, z.B.



0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Beispiel: Erkennen handgeschriebener Zahlen

- Neuronales Netz wurde mit insg. 10.000 handgeschriebenen Ziffern (d.h. Bildern) trainiert (mit zusätzlicher Angabe der jeweiligen Ziffer)
- Danach wird für 1.000 neue handgeschriebene Ziffern (ohne Angabe des Werts) getestet, ob das Netz die jeweilige Ziffer korrekt erkennt

	gelesene Ziffer										gesamt %	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
0	84	0	0	0	0	0	1	0	0	0	85	99
1	0	125	0	0	0	0	1	0	0	0	126	99
2	1	0	105	0	0	0	0	4	5	1	116	91
3	0	0	3	96	0	6	0	1	0	1	107	90
4	0	0	2	0	99	0	2	0	2	5	110	90
5	2	0	0	5	0	77	1	0	1	1	87	89
6	3	0	1	0	1	2	80	0	0	0	87	92
7	0	3	3	0	1	0	0	90	0	2	99	91
8	1	0	1	3	1	0	0	2	81	0	89	91
9	0	0	0	0	1	0	0	6	2	85	94	90
gesamt	91	128	115	104	103	85	85	103	91	95	1000	92

Kontingenztafel für die Leistungsfähigkeit des NN

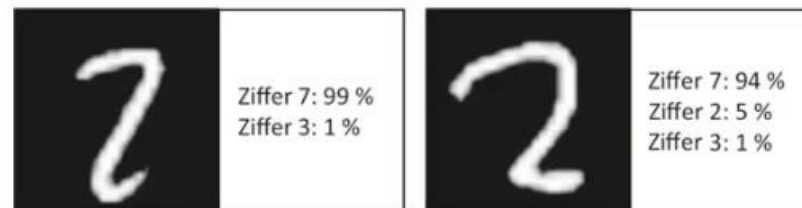
Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Beispiel: Erkennen handgeschriebener Zahlen



Falsche Klassifikation der Ziffer „2“



Relativ häufiges Vertauschen der Ziffern „3“ und „5“

Problemstellung

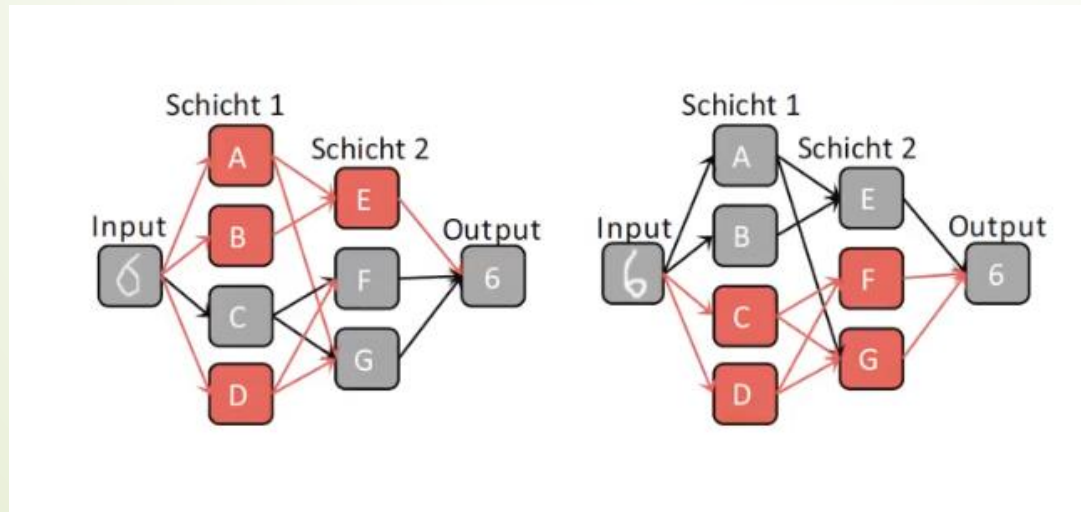
Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Beispiel: Erkennen handgeschriebener Zahlen

- Neuronen des Netzes sind in **Schichten (engl. layer)** angeordnet
 - **Output einer Schicht ist jeweils Input für die nächste Schicht!**
- Bsp: Netz mit Eingabe von zwei Handschriftversionen der Ziffer „6“
 - **Unterschiedliche Schreibweisen der „6“ aktivieren in den dargestellten Schichten verschiedene Neuronen**
 - **In beiden Fällen resultiert dieselbe (korrekte) Vorhersage als Output**



Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Beispiel: Erkennen handgeschriebener Zahlen

■ Input-Schicht:

Verarbeitet jedes Pixel des eingehenden Bildes (d.h. Neuronenzahl entspricht Anzahl der Pixel)

■ Zwischenschichten (hidden layers):

- Daten durchlaufen sukzessive mehrere Schichten („**feedforward**“)
- Dabei werden sie so **transformiert**, dass sie einem der Bilder, mit denen das Netz trainiert wurde und dessen Bedeutung es kennt, **immer ähnlicher werden**
- Anzahl der Neuronen sollte proportional zur Bildpixelanzahl sein (im Bsp. 500 Neuronen)

■ Output-Schicht:

Vorhersage bzw. **Antwort des Netzes**, die aus einem oder mehreren Neuronen bestehen kann

Problemstellung

Motivation

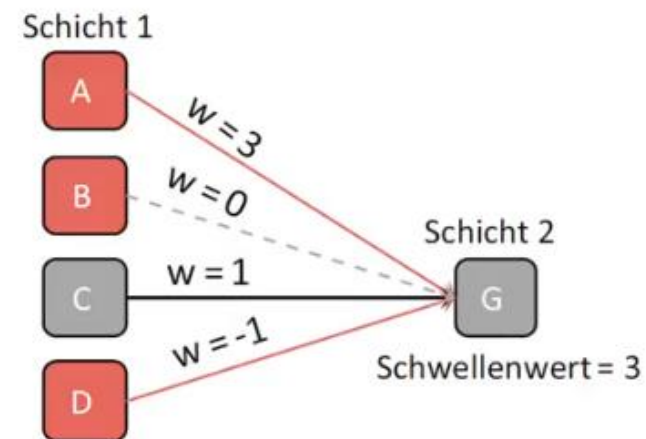
Vorgehensweise

Diskussion

Beispiel: Erkennen handgeschriebener Zahlen

➤ Aktivierungsregel

- regelt die Aktivierung eines Neurons
 - gibt an, **von welchen vorgeschalteten Neuronen Signale kommen müssen, und mit welcher Stärke**, damit das Neuron aktiviert wird
 - **Bestimmung optimaler Werte für die Gewichte und Schwellenwerte ist essentiell** für Aktivierungsregeln, um am Ende zu korrekten Vorhersagen zu gelangen
- auch **Anzahl der Zwischenschichten sowie deren jeweilige Neuronenzahl** stellen wichtige Parameter des Neuronalen Netzes dar
 - am Ende jedes Durchlaufs wird die Genauigkeit der Vorhersage betrachtet, und die Gewichte entsprechend angepasst („**backpropagation**“)



Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Einfaches Beispiel: 2-Schichten-NN

- 3 Input-Neuronen, 4 Zwischenschicht-Neuronen, 1 Output-Neuron
- Input-Werte: 0 oder 1
- Output-Werte: 0 oder 1

- **feedforward:**
 1. Berechne das **Signal z von Input-Schicht zu Zwischenschicht**, mit $z = W * x$ (W sind die **Gewichte** von Input- zu Zwischenschicht, x sind die **Werte der Input-Neuronen**)
 2. Wende die Aktivierungsfunktion auf das Signal z an
(in diesem Fall verwenden wir die Sigmoid-Funktion $\frac{1}{1+e^{-z}}$ an); dies ist dann der **Wert der Neuronen der Zwischenschicht**
 3. Nochmal **Schritt 1 für Zwischenschicht zu Output-Schicht**
 4. Nochmal Schritt 2 für den **Wert des Neurons der Output-Schicht**

Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Einfaches Beispiel: 2-Schichten-NN

➤ „feedforward“:

1. Berechne das **Signal z von Input-Schicht zu Zwischenschicht**, mit $z = W * x$ (W sind die **Gewichte** von Input- zu Zwischenschicht, x sind die **Werte der Input-Neuronen**)
2. Wende die Aktivierungsfunktion auf das Signal z an
(in diesem Fall verwenden wir die Sigmoid-Funktion $\frac{1}{1+e^{-z}}$ an); dies ist dann der **Wert der Neuronen der Zwischenschicht**
3. Nochmal **Schritt 1 für Zwischenschicht zu Output-Schicht**
4. Nochmal Schritt 2 für den **Wert des Neurons der Output-Schicht**

Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Einfaches Beispiel: 2-Schichten-NN

➤ „backpropagation“:

1. Berechne für den berechneten Output den sog. Verlust (oft „Cost Function“ oder „Loss Function“ genannt), sprich **wie stark weicht der tatsächliche Wert von dem vorhergesagten Wert der Output-Schicht** ab
2. **Passe die Gewichte w so an, dass der Verlust minimal wird (sprich: Verlust-Funktion ableiten nach w !), siehe Übung**

Dann startet wieder feedforward: Mit den neuen Gewichten wird wieder der Output berechnet, damit der Verlust berechnet, wieder Gewichte angepasst!

Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion

Diskussion

- Ein Neuronales Netz besteht aus mehreren **Schichten von Neuronen**. Während des **Trainings** werden Neuronen der ersten Schicht von Input-Daten aktiviert, diese **Aktivierungen** werden dann **von Schicht zu Schicht weitergereicht**, bis sie schließlich in der **letzten Schicht zu einem Output** führen, der Vorhersage des Netzes.
- Ob ein bestimmtes Neuron aktiviert wird, hängt von Stärke und dem Ursprung der dort einlaufenden Signale ab, berechnet wird seine Aktivierung mit Hilfe einer für jedes Neuron spezifischen **Aktivierungsregel**. Diese Regeln werden während des Trainings bei allen Neuronen **optimiert**, indem **Feedback zur jeweiligen Vorhersagegenauigkeit** einfließt. Diesen Prozess nennt man **Backpropagation**.
- Neuronale Netzen arbeiten am Besten, wenn **große Datensätze und leistungsfähige Rechner** zur Verfügung stehen. **Die Ergebnisse können allerdings im Wesentlichen nicht interpretiert werden.**

Problemstellung

Motivation

Vorgehensweise

Diskussion