



# Erste Datenklassifikation des InGrid Detektors am CAST Experiment mittels Deep Learning

# Inhalt

- I. Zielsetzung und Motivation
- II. Aufbau CAST und Micromegas Detektor
- III. Genommene Daten
- IV. Neuronale Netzwerke:  
MLPs zur Datenklassifikation
- V. Parameter und  
Optimierungsmöglichkeiten des  
MLP



Abb.1 Namensegeber des Axion

# Zielsetzung und Motivation

## Ziel:

- indirekter Nachweis von Axionen über Röntgenphotonen

## Theoretische Motivation:

- Dunkle-Materie-Kandidat
- Lösung des strong CP Problem
  - CPT-Invarianz des SM:
    - Charge (Austausch mit (Anti)materie)
    - Parity (Umkehr der Raumkoordinaten)
    - Time (Zeitumkehr)

## Problem/offene Frage:

- EDM des Neutrons bisher nicht gemessen --- >
- sehr kleiner Wert --- >
- Verstoß gegen Ethisches Kriterium der *naturalness*

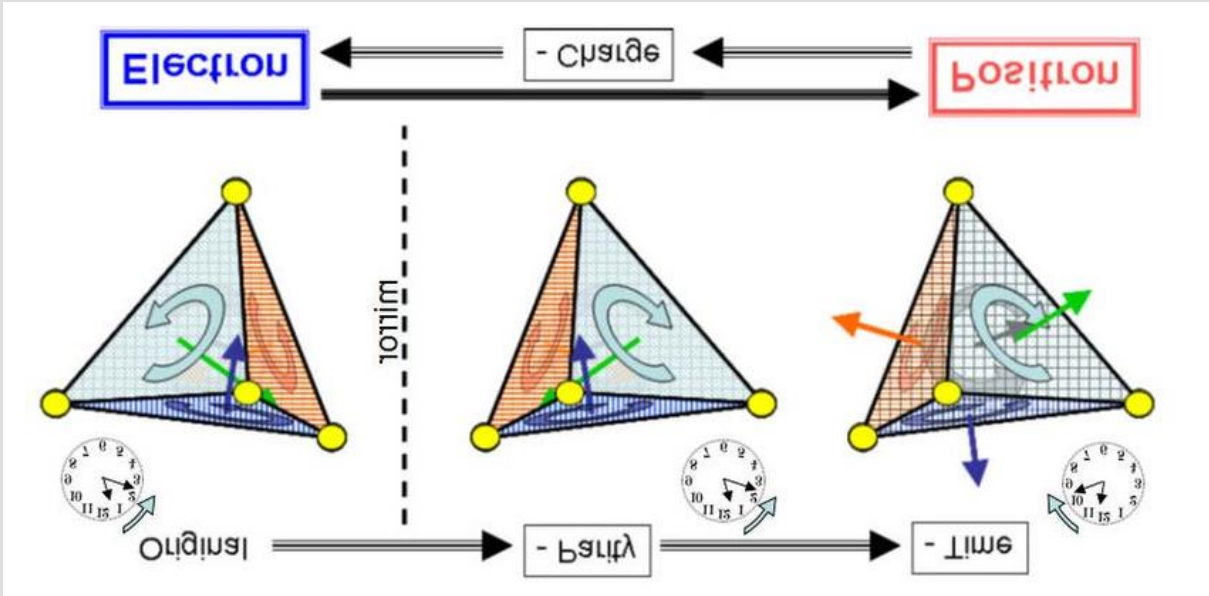


Abb2: CPT-Symmetrie

# Zielsetzung und Motivation

**Entstehung im Sonneninneren:**

- Photon-Nucleus-Wechselwirkung:

$$\gamma + Z \rightarrow Z + a$$

*a*: Axion  
*Z*: Atomkern  
*γ*: Photon

**Kopplungskonstanten:**

- Axion ↔ Elektron:  $g_{ae}$
- Axion ↔ Photon:  $g_{a\gamma}$

**Detektionsmethode:**

- indirekte Detektion über Röntgen-Photonen
- Inverser Primakoff-Effekt:
  - $a + \gamma \rightarrow \gamma$   
 (in Gegenwart eines EM-Feldes)

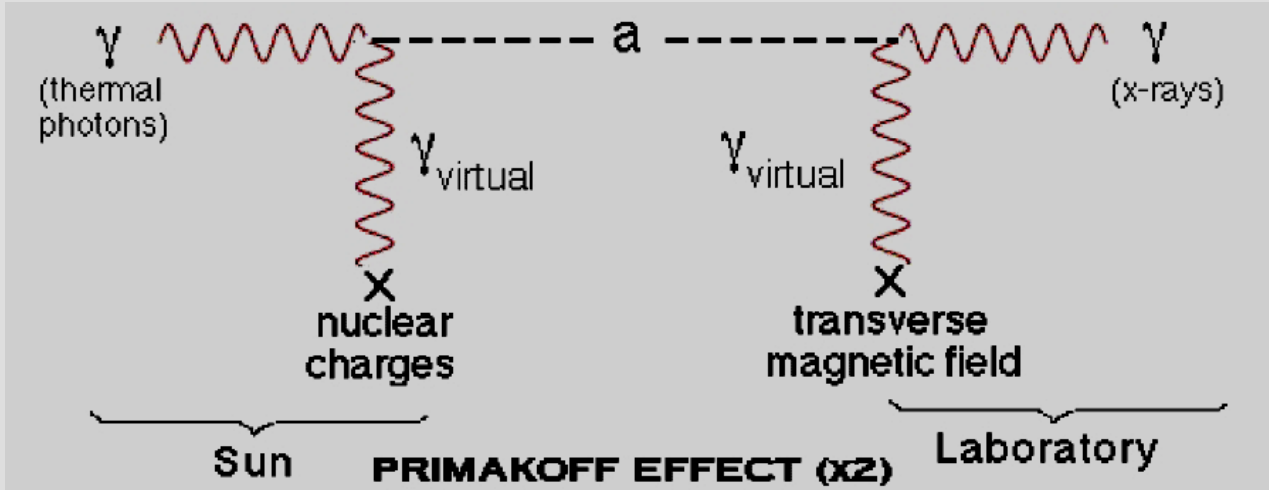


Abb.3 Konversion zwischen Photonen und Axionen

# Aufbau CAST und InGrid Detektor

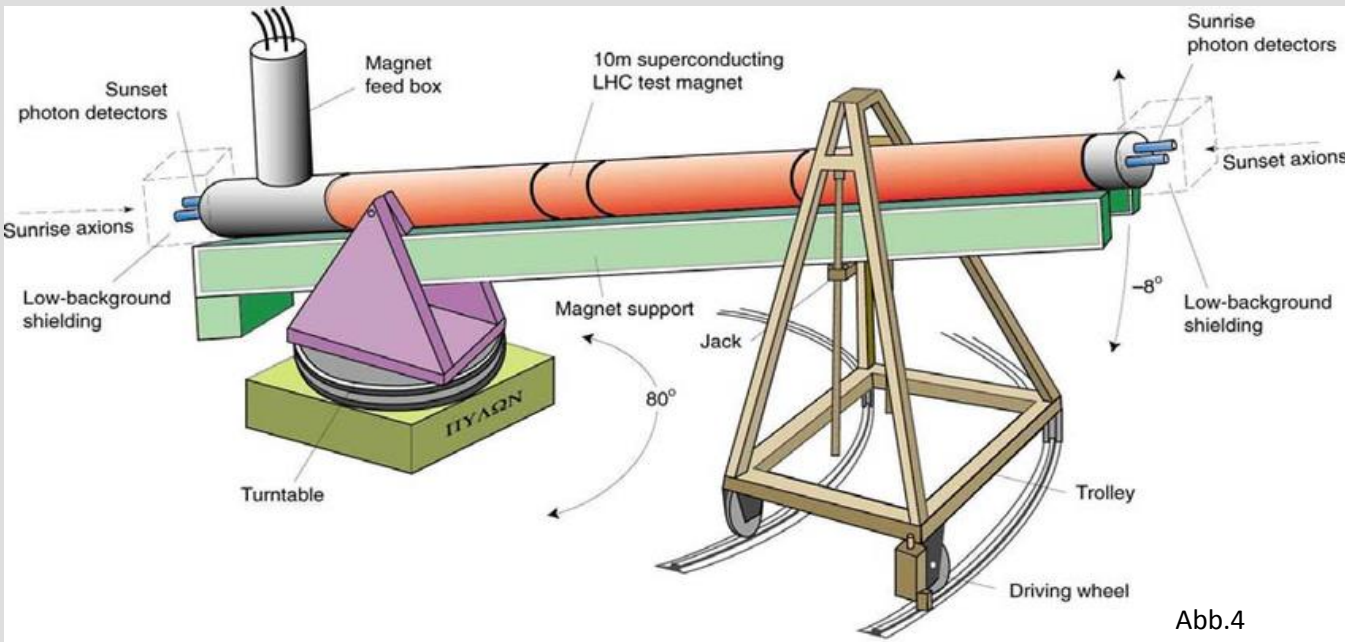


Abb.4

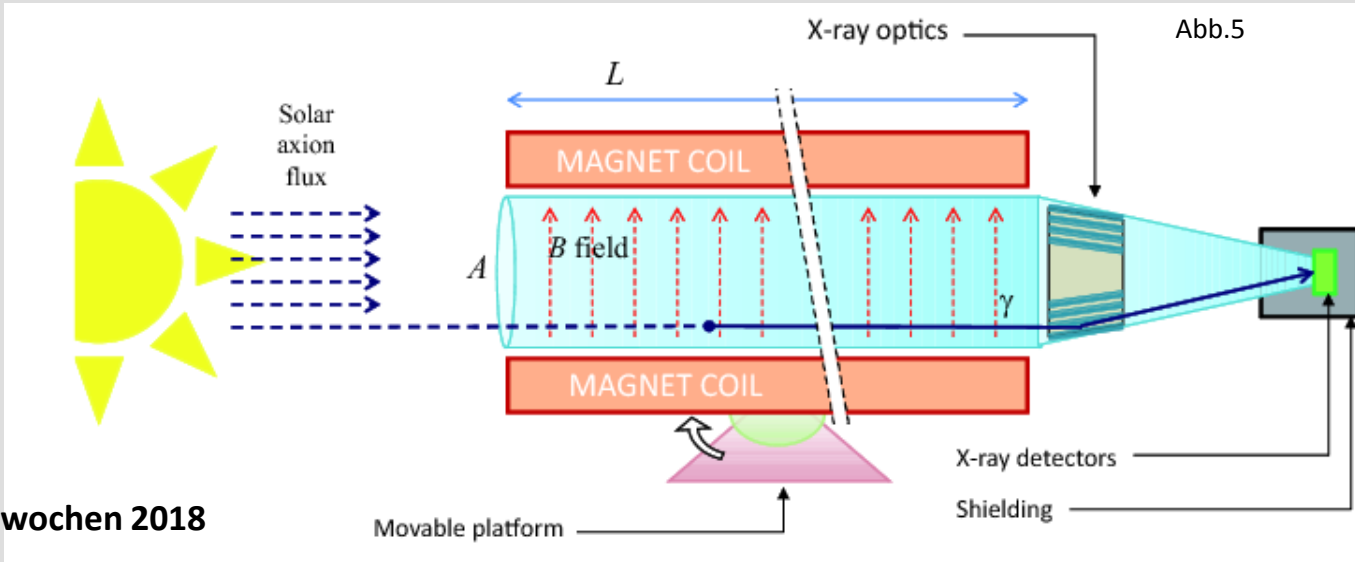


Abb.5

Abb.4 und 5. schematische Darstellung des CAST Experiments

# Aufbau CAST und InGrid Detektor

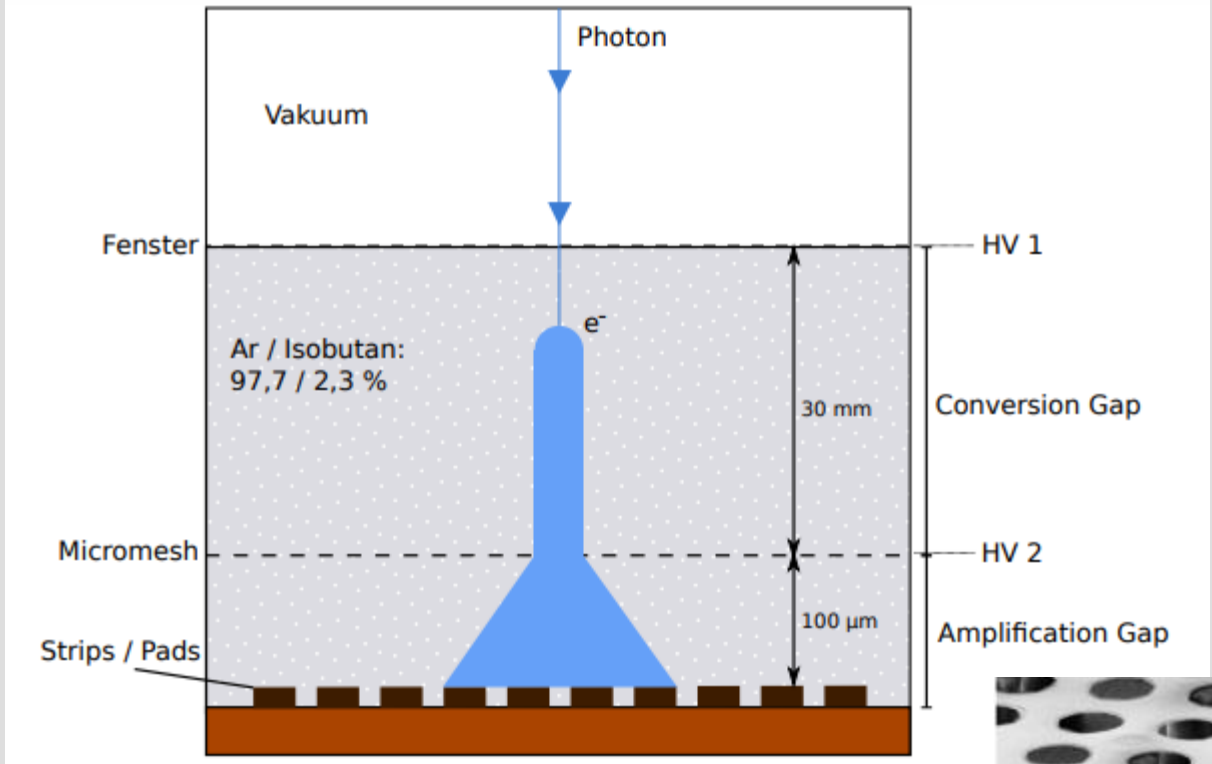


Abb.6: schematischer Aufbau des Gasetektors

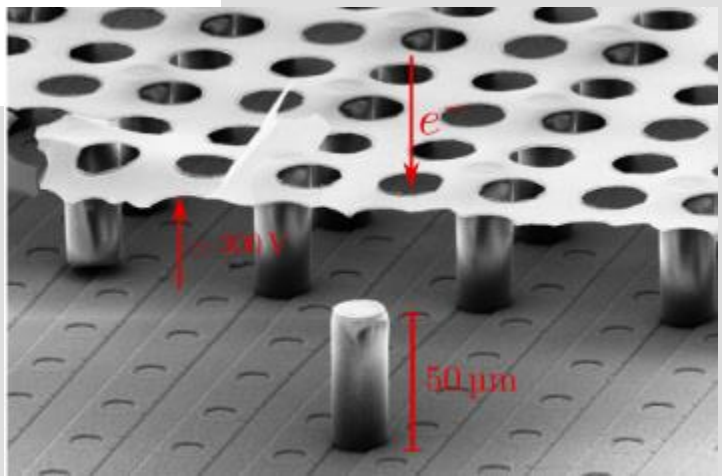


Abb.7: mikroskopische Aufnahme GridPix

# Genommene Daten

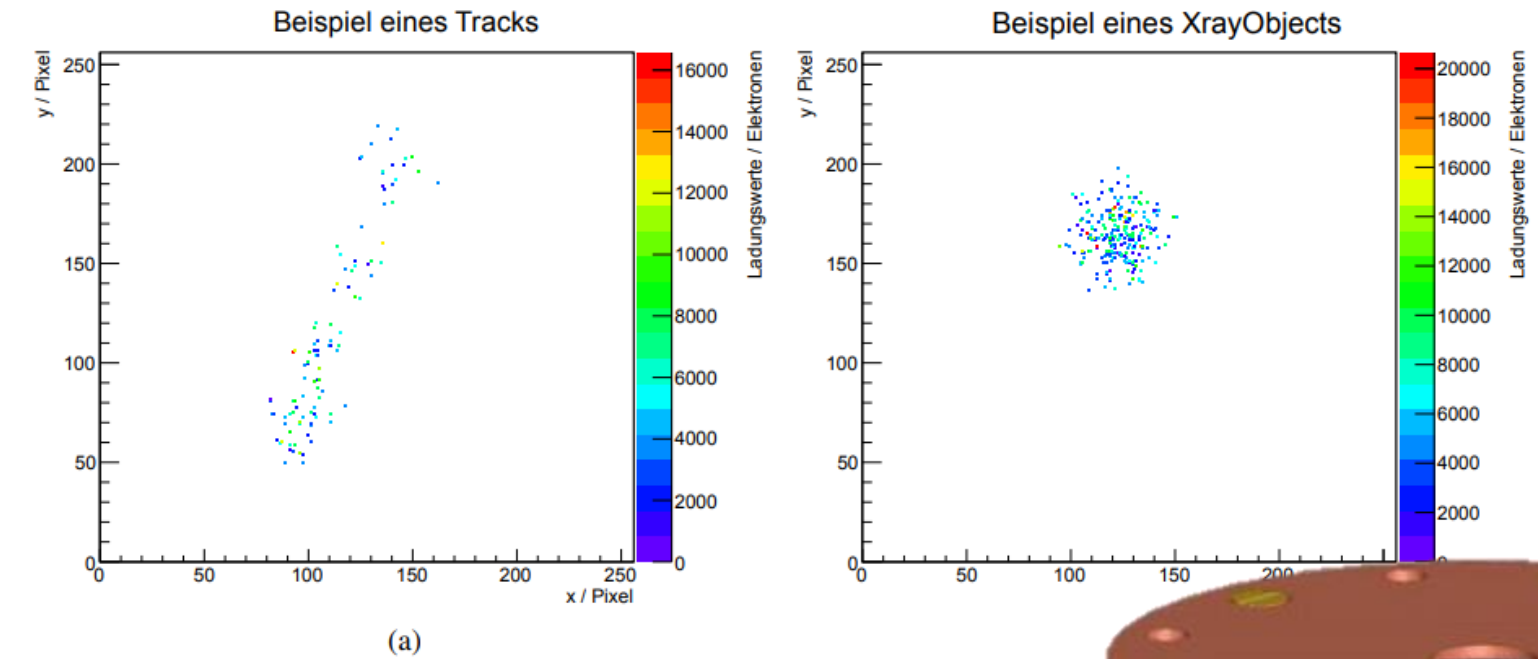


Abb.8: Beispilevents

### Angewendete Cuts:

- Eccentricität
- Länge der Spur
- ...

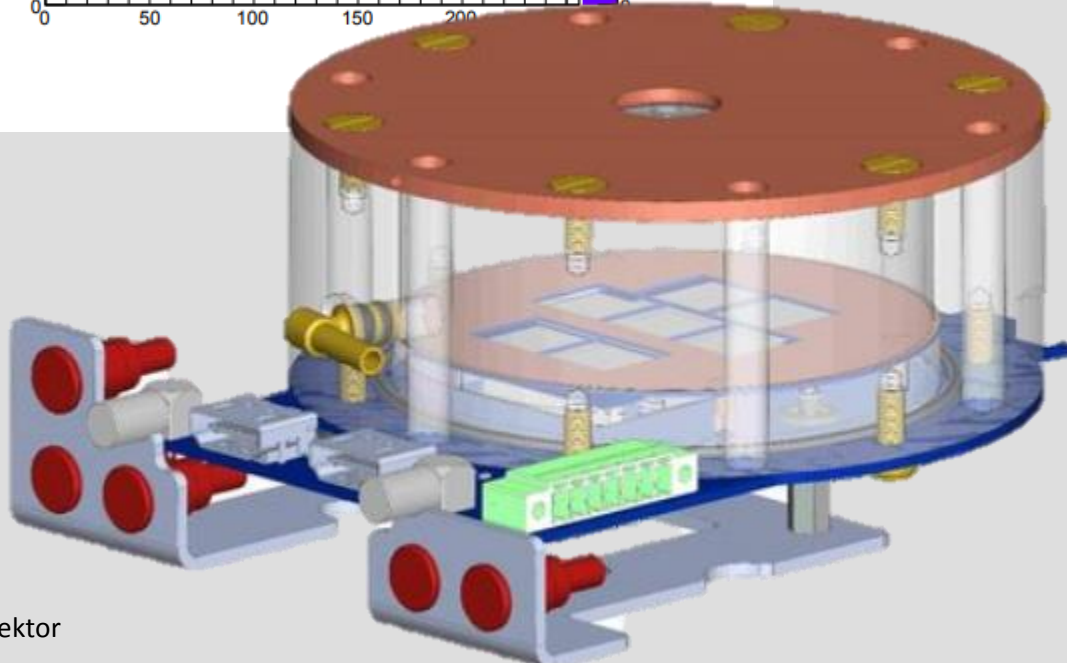


Abb.9: Gasdetektor

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

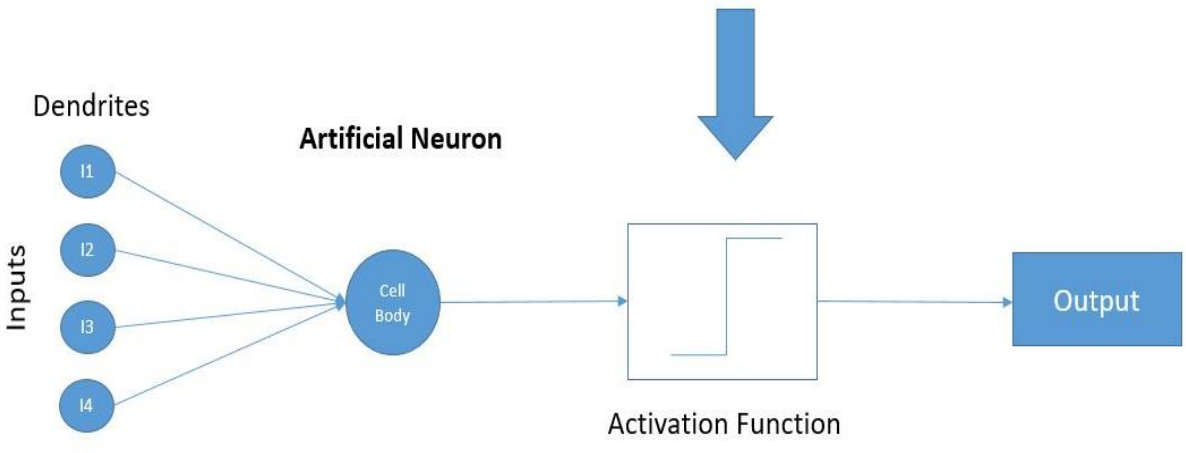
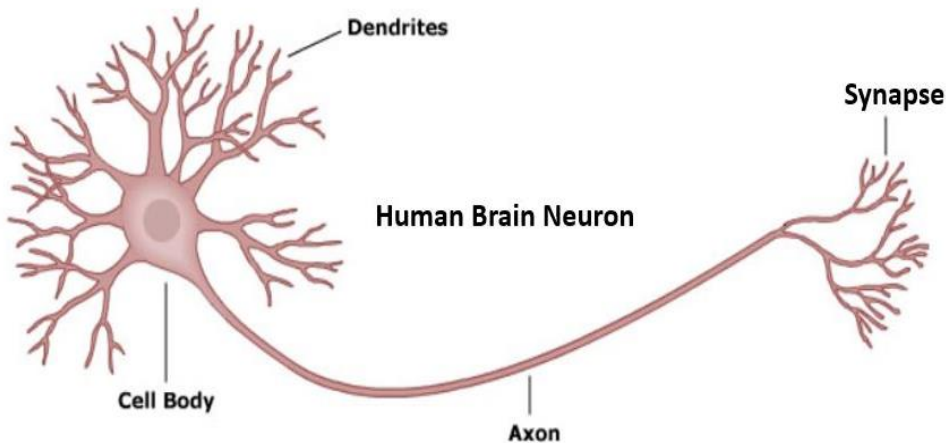


Abb.10: Vergleich biologische Nervenzelle und Neuron eines Neuronalen Netzwerkes

## Abstraktion des biologischen Vorbildes

### Arten neuronaler Netzwerke:

- Convolutional Neural Networks (z.B. Bilderkennung)
- Support vector machines (SVM) (z.B. Klassifizierungsprobleme, Mustererkennung)

### Gewählte Art des Netzwerks:

- **Multilayer – Perceptron (MLP)**



# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

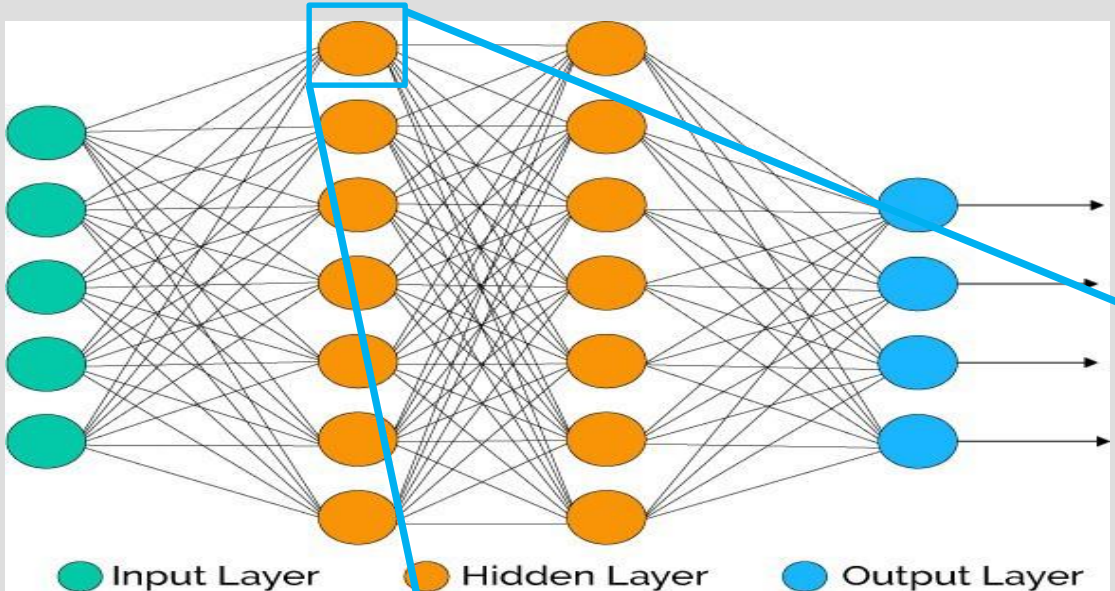


Abb.11: Aufbau eines MLP

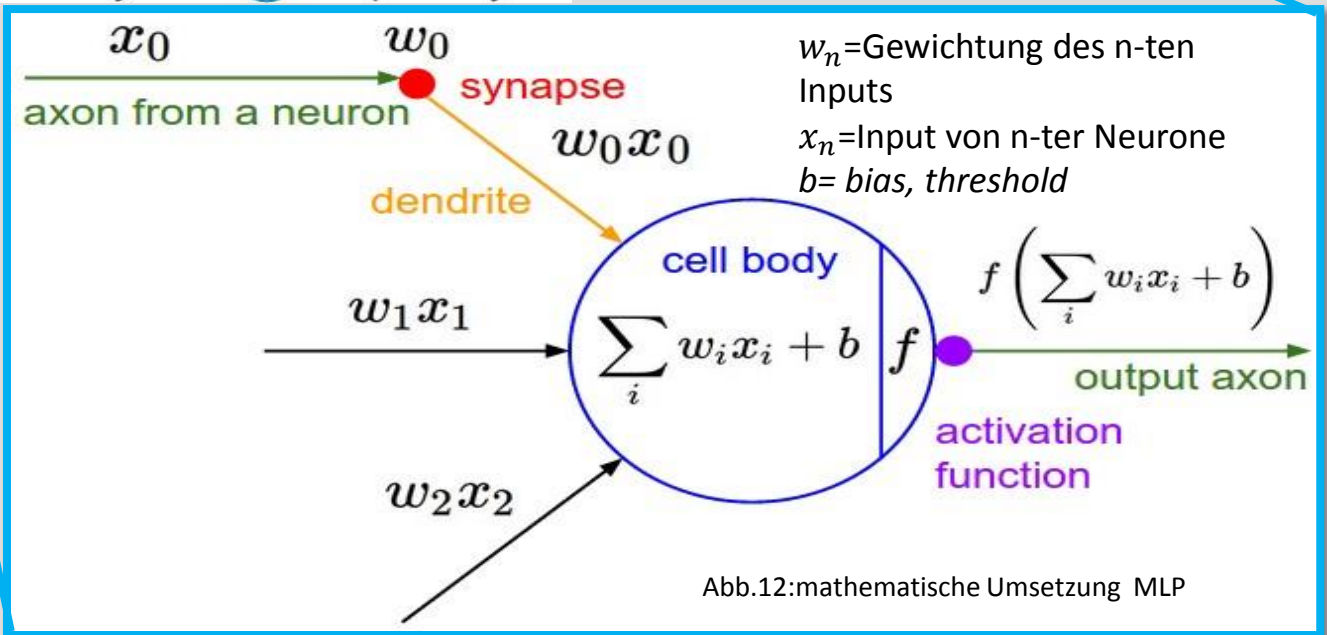


Abb.12: mathematische Umsetzung MLP

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

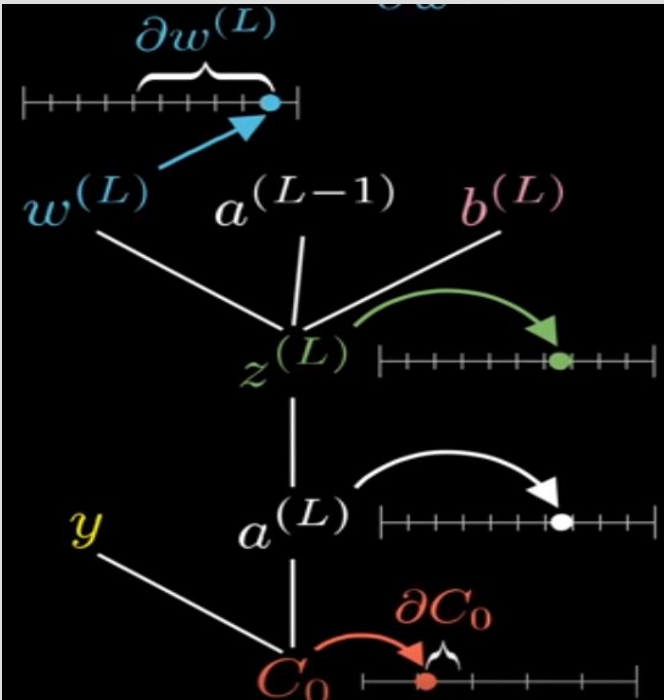


Abb13a: Einflussgrößen der cost-Funktion  
*L*: betrachtete Schicht  
*L-1*: vorherige Schicht  
 $w^{(L)}$ : Gewicht einer Verbindung zur vorherigen Schicht  
 $a^{(L-1)}$  bzw.  $a^{(L)}$ : Information von Neuron aus jeweils vorheriger Schicht  
 $z^L$  gewichtete Summe  
 $b^L$ : bias des Neurons in Schicht *L*  
*C*: Cost-funktion  
*Y*: Output

1) Partielle Ableitung der Cost-funktion:

$$\frac{\partial C_0}{\partial w^{(L)}} = \frac{\partial z^{(L)}}{\partial w^{(L)}} \frac{\partial a^{(L)}}{\partial z^{(L)}} \frac{\partial C_0}{\partial a^{(L)}}$$

Abb.13b

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^p)^2}{n}$$

Abb.14: Mean Squared Error (hauptsächlich verwendete Loss-Funktion)

2) Summe über alle Testdatenpunkte:

$$\frac{\partial C}{\partial w^{(L)}} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\partial C_k}{\partial w^{(L)}}$$

Abb.13c

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

$$\nabla C = \begin{bmatrix} \frac{\partial C}{\partial w^{(1)}} \\ \frac{\partial C}{\partial b^{(1)}} \\ \vdots \\ \frac{\partial C}{\partial w^{(L)}} \\ \frac{\partial C}{\partial b^{(L)}} \end{bmatrix}$$

**Abb.13d: Gradient der Cost-Funktion:**  
Ableitungen nach allen Gewichten aller Verbindungen zur Vorgängerschicht

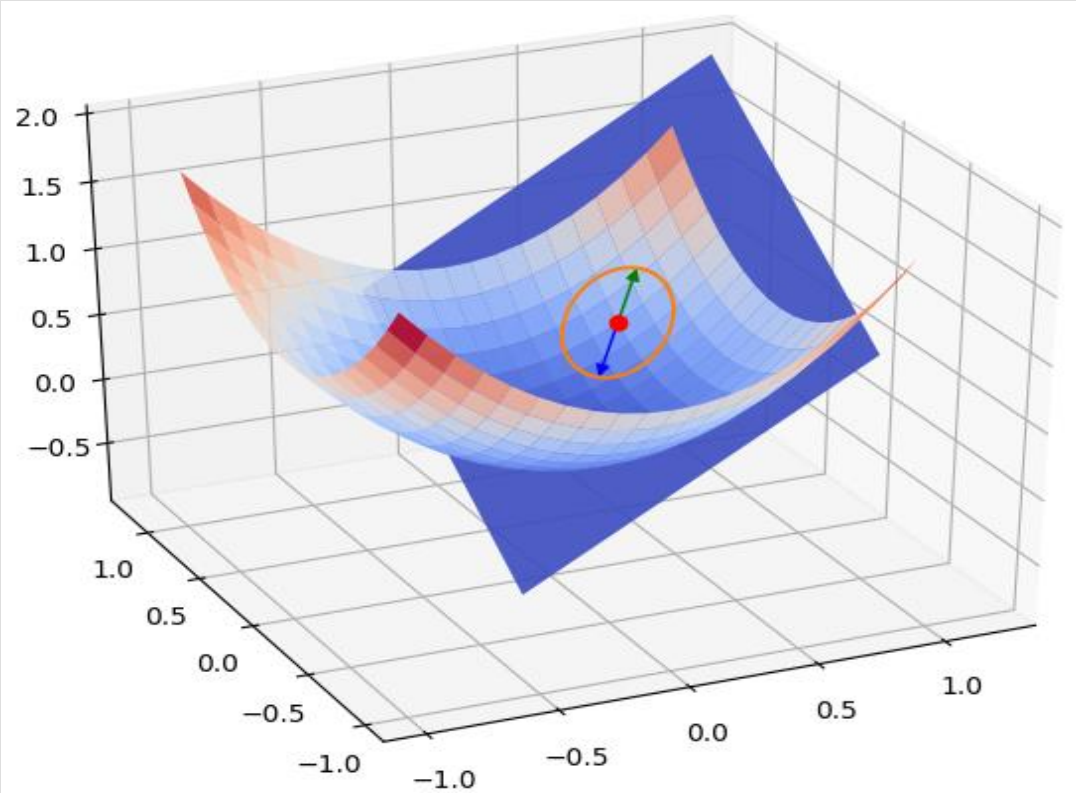


Abb.15: Minimieren der Cost-Funktion

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

## Aufbau des verwendeten Netzwerks:

- 12-14 Input-Neuronen
- 2-5 hidden layers
- 2 Output-layer

## Training des Netzwerks:

- Training mit Messungen künstl. Erzeugter Röntgenphotonen und Hintergrunddaten
- Vorsortieren der Daten durch Grenzwerte/Schnitte
- Verwendete Bibliotheken: numpy, torch

## Möglichkeiten zur Optimierung:

- Wahl der Cost- und Aktivierungsfunktion
- Wahl der Learning-rate
- Umfang des Trainingsdatensatzes-- > Overtrainingseffekte verhindern
- Anzahl und Umfang der hidden layers

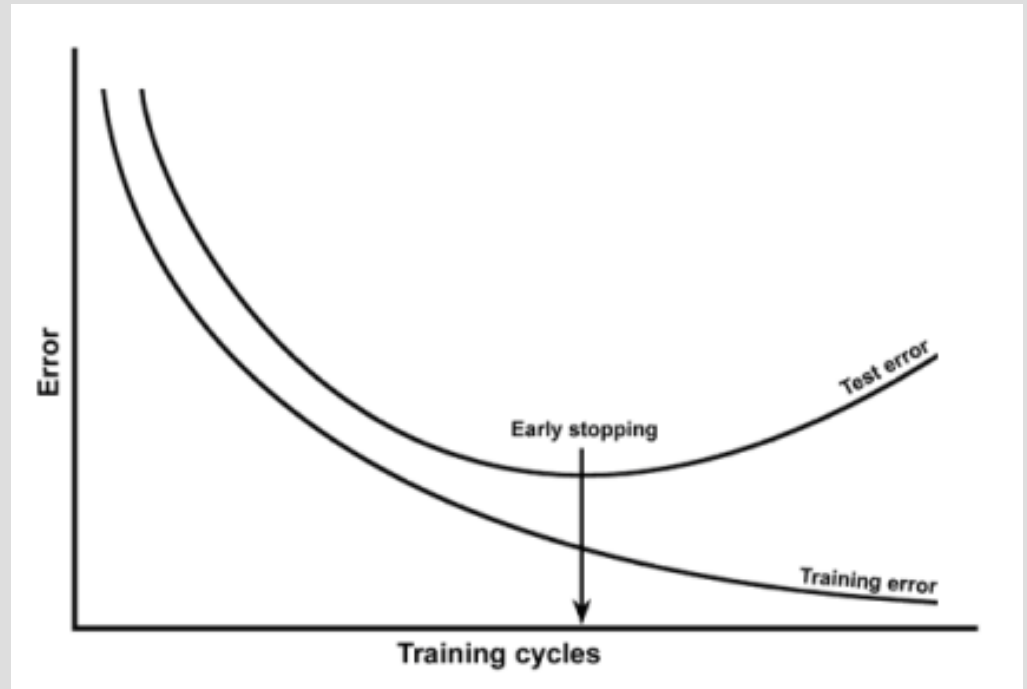


Abb. 16: Overtrainingseffekte

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

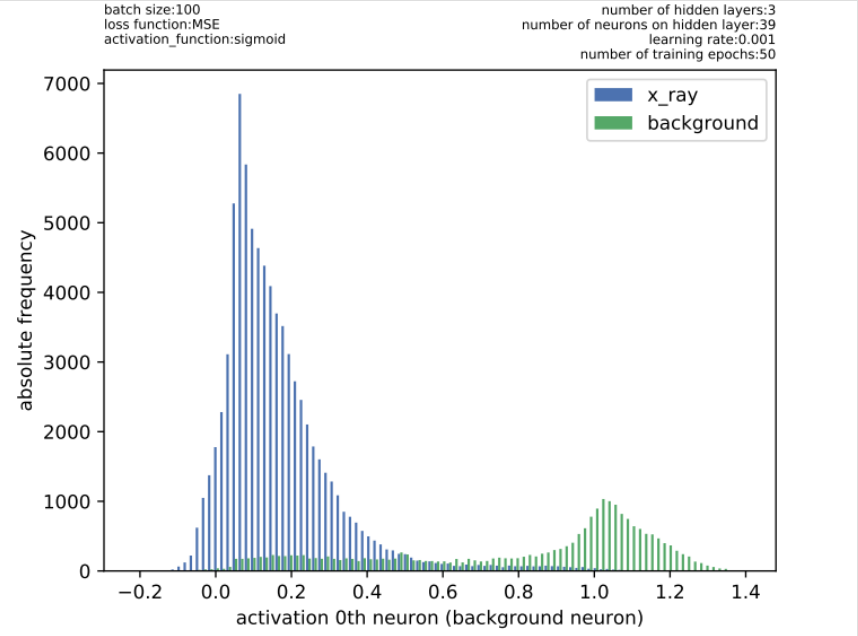


Abb.17: exemplarische s Histogramm der Outputverteilung

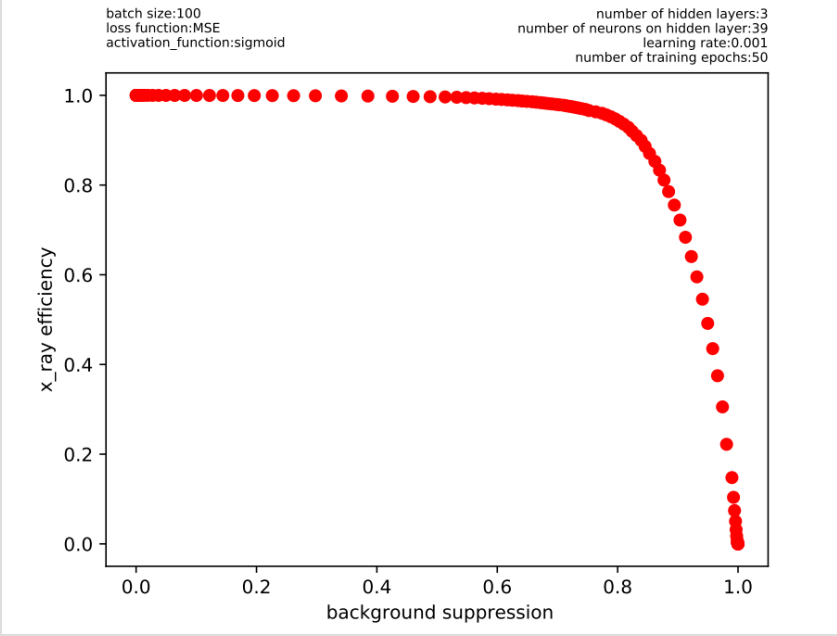


Abb.18: exemplarische rock curve

**rock curve:**

*x\_ray\_efficiency*: prozentualer Anteil der  
 Signalereignisse oberhalb des  
 Schrittwertes  
 (Signalefficiency  $\epsilon_S$ )

*background suppression*: Anzahl der Anteil der  
 Backgroundereignisse oberhalb des  
 Schrittwertes  
 (Background efficiency  $\epsilon_B$ )  
 Background suppression  $1 - \epsilon_B$

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

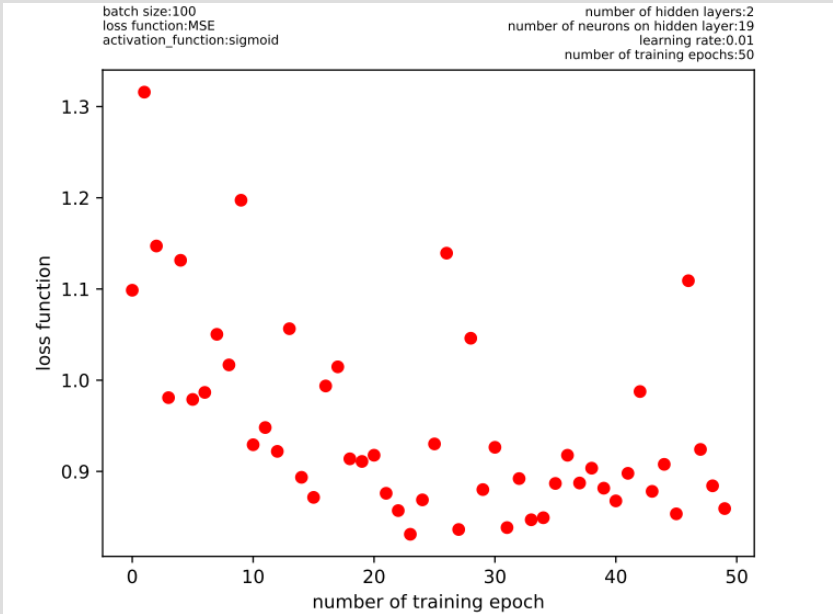


Abb.19: zu große Learning Rate

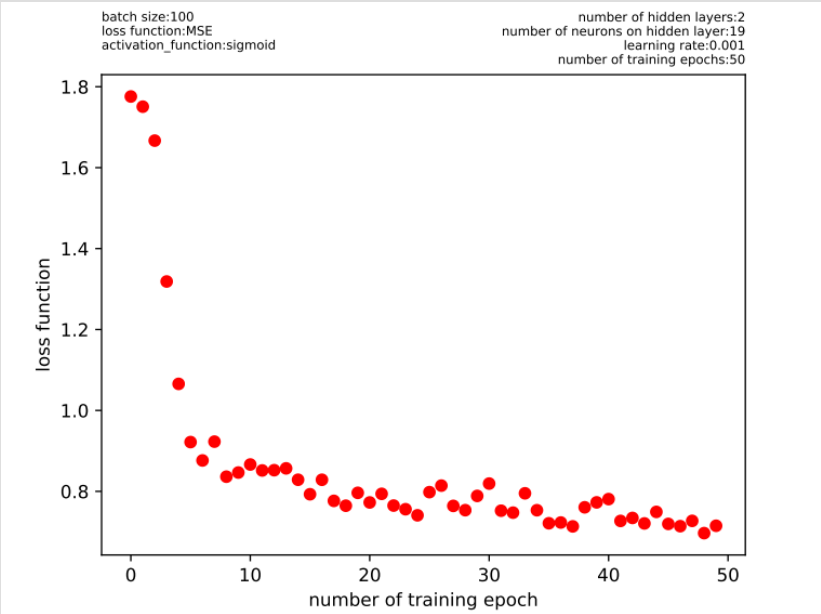


Abb.20: kleinere Learning Rate

### Einfluss der Learning Rate:

- anschaulich: Größe der Schritte in die Richtung des lokalen Minimums der Cost-Funktion
- zu groß: Permanentes Verfehlen des Minimums
- zu klein: unverhältnismäßig großer Zeit- und Rechenaufwand

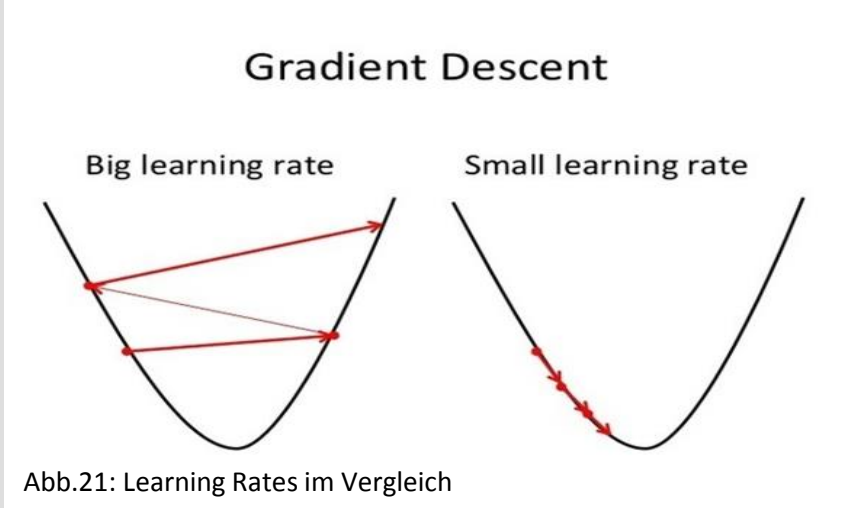


Abb.21: Learning Rates im Vergleich

# Neuronale Netzwerke: MLPs zur Datenklassifikation

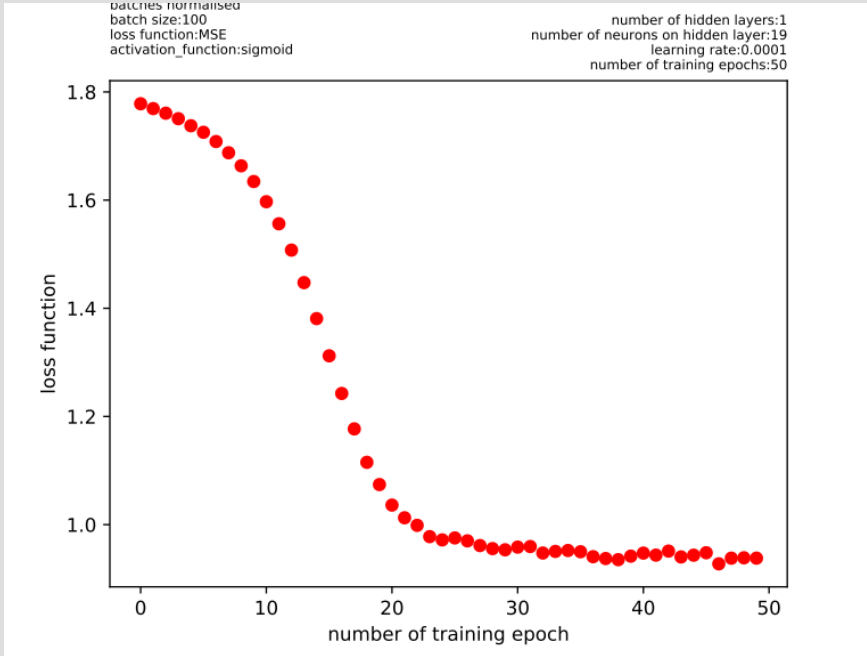


Abb.22: weniger Neuronen auf Hidden Layer

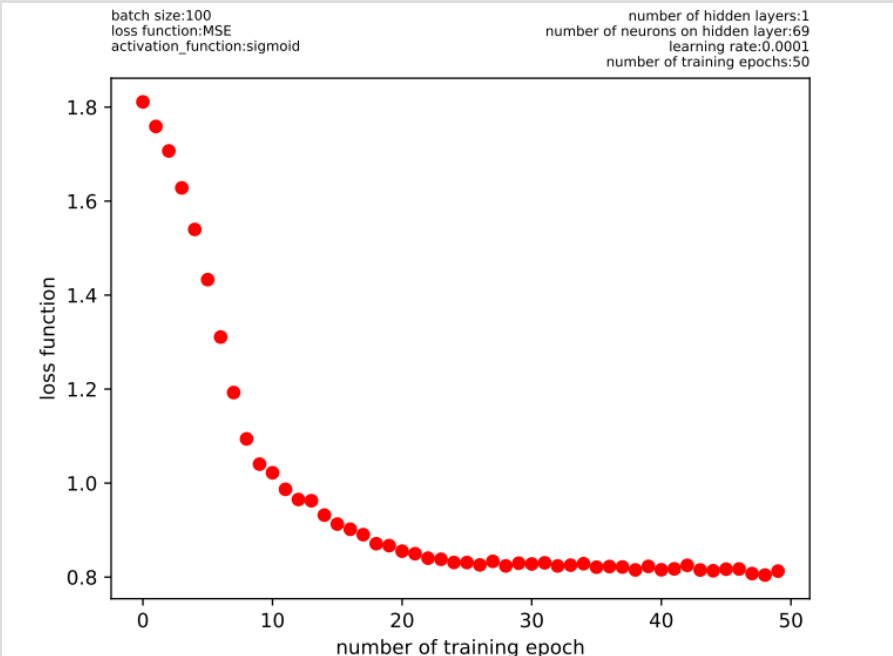


Abb.23: mehr Neuronen auf Hidden Layer

## Einfluss der Neuronenanzahl auf der Hidden Layer:

- Steilerer Abfall der Cost-Funktion
- Vergleichbarer Trainingszustand mit mehr Neuronen nach weniger Epochen erreicht

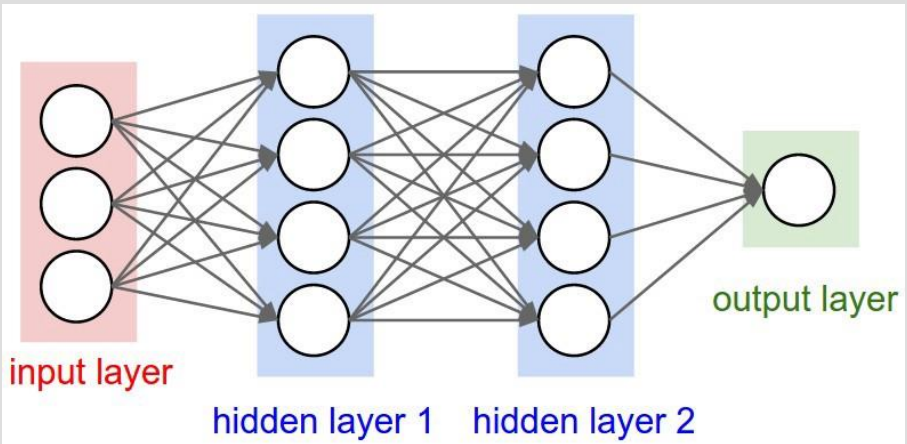


Abb.24: MLP mit zwei Hidden Layers

# Quellen

## Bildquellen:

### Abbildungen:

1. [https://www.google.ch/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYm5\\_Uh\\_dAhXD66QKHWTXBz8QjRx6BAGBEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.laranitadelapaz.com.mx%2Fdetergente-12-900grs-axion&psig=AOvVaw1oPOxGqCWZyE7XQnH5SAQN&ust=1539370237932880](https://www.google.ch/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYm5_Uh_dAhXD66QKHWTXBz8QjRx6BAGBEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.laranitadelapaz.com.mx%2Fdetergente-12-900grs-axion&psig=AOvVaw1oPOxGqCWZyE7XQnH5SAQN&ust=1539370237932880)
2. [http://www.institut3b.physik.rwth-aachen.de/global/show\\_picture.asp?id=aaaaaaaaaajrkap](http://www.institut3b.physik.rwth-aachen.de/global/show_picture.asp?id=aaaaaaaaaajrkap)
3. <https://sciencevspseudoscience.files.wordpress.com/2014/03/reflections.png>
4. [http://collargroup.uchicago.edu/projects/axion/images/axions-fig1\\_large.gif](http://collargroup.uchicago.edu/projects/axion/images/axions-fig1_large.gif)
5. [https://www.researchgate.net/profile/Giorgio\\_Passardi/publication/46101124/figure/fig2/AS:394243358117902@1471006349972/Simplified-layout-of-the-CERN-Axion-Solar-Telescope-CAST.png](https://www.researchgate.net/profile/Giorgio_Passardi/publication/46101124/figure/fig2/AS:394243358117902@1471006349972/Simplified-layout-of-the-CERN-Axion-Solar-Telescope-CAST.png)
6. [http://inspirehep.net/record/1277074/files/sketch\\_helioscope-eps-converted-to.png](http://inspirehep.net/record/1277074/files/sketch_helioscope-eps-converted-to.png)
7. <https://www.lhc-ilc.physik.uni-bonn.de/ergebnisse/dateien/t00000040.pdf?c=t&id=40>
8. <https://www.lhc-ilc.physik.uni-bonn.de/ergebnisse/dateien/t00000040.pdf?c=t&id=40>
9. <https://https://www.lhc-ilc.physik.uni-bonn.de/ergebnisse/dateien/t00000040.pdf?c=t&id=40>
10. <https://slideplayer.com/slide/12969076/>
11. <http://www.mplsvpn.info/2017/11/what-is-neuron-and-artificial-neuron-in.html>
12. [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTHa4u9aQVG1tUnnU3fTsD\\_iQ-C0AU\\_6CqYnIBbg-FjY10wf6r4Vw](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTHa4u9aQVG1tUnnU3fTsD_iQ-C0AU_6CqYnIBbg-FjY10wf6r4Vw)
13. <https://www.youtube.com/watch?v=llg3gGewQ5U>
14. [https://www.google.ch/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwidJqCq\\_vrdAhXRZFAKHRYfDaAQjRx6BAGBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.learnopencv.com%2Funderstanding-activation-functions-in-deep-learning%2F&psig=AOvVaw2C67NulTsWH5JRBnevKoEg&ust=1539207742424643](https://www.google.ch/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwidJqCq_vrdAhXRZFAKHRYfDaAQjRx6BAGBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.learnopencv.com%2Funderstanding-activation-functions-in-deep-learning%2F&psig=AOvVaw2C67NulTsWH5JRBnevKoEg&ust=1539207742424643)
15. [https://www.researchgate.net/profile/Kristofer\\_Tingdahl/publication/289828233/figure/fig1/AS:449270580027393@1484125861104/Stopping-criteria-for-a-neural-network-using-a-test-set-not-used-to-update-the-neural.png](https://www.researchgate.net/profile/Kristofer_Tingdahl/publication/289828233/figure/fig1/AS:449270580027393@1484125861104/Stopping-criteria-for-a-neural-network-using-a-test-set-not-used-to-update-the-neural.png)
16. [https://www.google.ch/search?q=learning+rate&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwid66vyr\\_rdAhUPxo\\_UKHc8yD8IQ\\_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgsrc=rYmt3ByZfI4NM](https://www.google.ch/search?q=learning+rate&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwid66vyr_rdAhUPxo_UKHc8yD8IQ_AUIDigB&biw=1600&bih=709#imgsrc=rYmt3ByZfI4NM)
17. <https://i.stack.imgur.com/1QU0m.png>