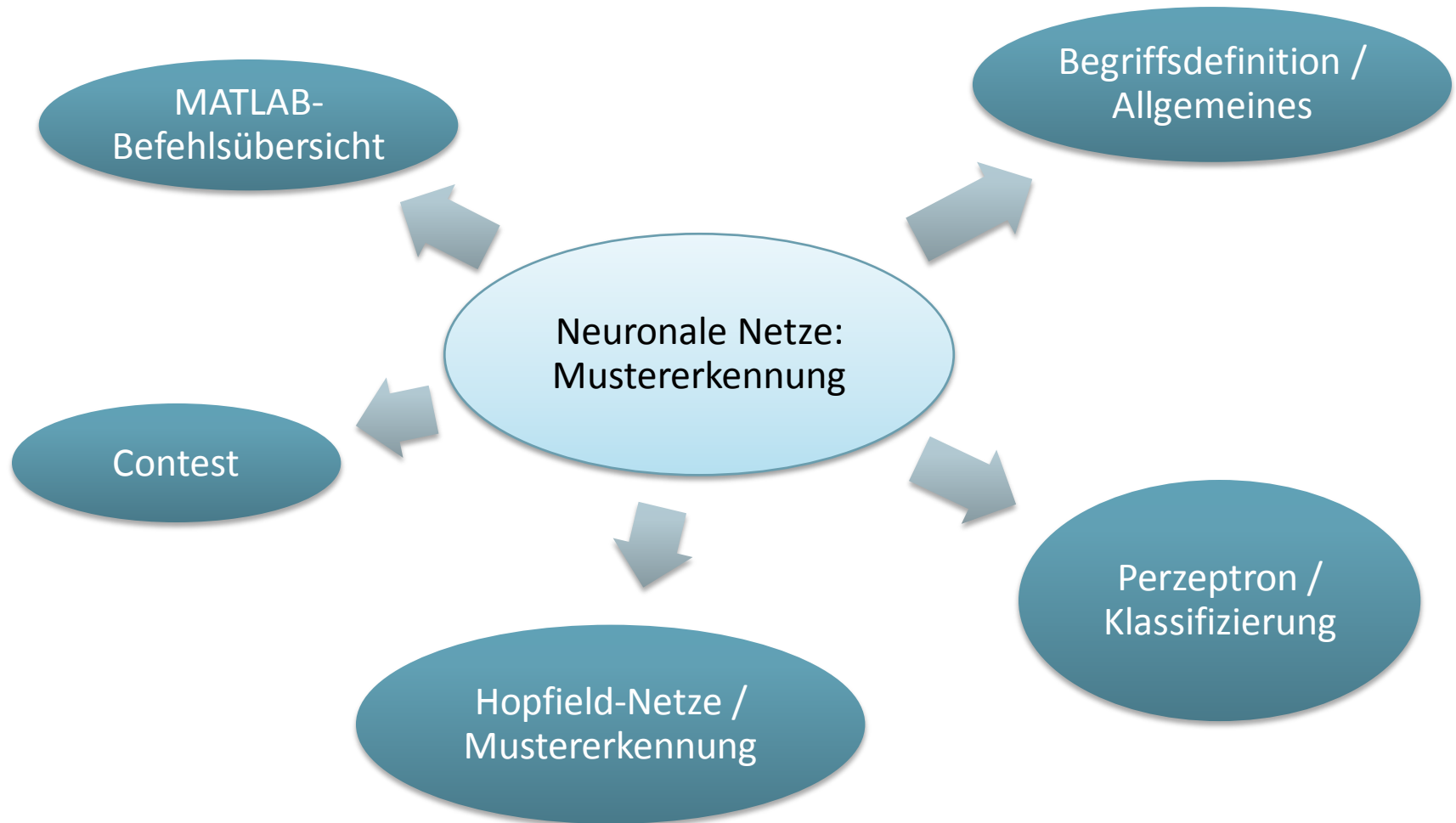




# NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG

Praktikum Simulationstechnik  
Rene Schneider, Benjamin Zaiser





Begriffsdefinitionen

## NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG

# Neuronales Netz



- Natürliche Neuronale Netze
  - Struktur/Informationsarchitektur von Gehirn und Nervensystem bei Menschen/Tieren
  - Bestehend aus einzelnen Neuronen, verbunden durch Synapsen
- Künstliche Neuronale Netze
  - Funktionsweise des menschlichen Gehirns besser verstehen
  - konkrete Anwendungsprobleme lösen
  - Abgebildet durch eine Matrix

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



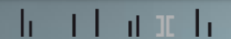
Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



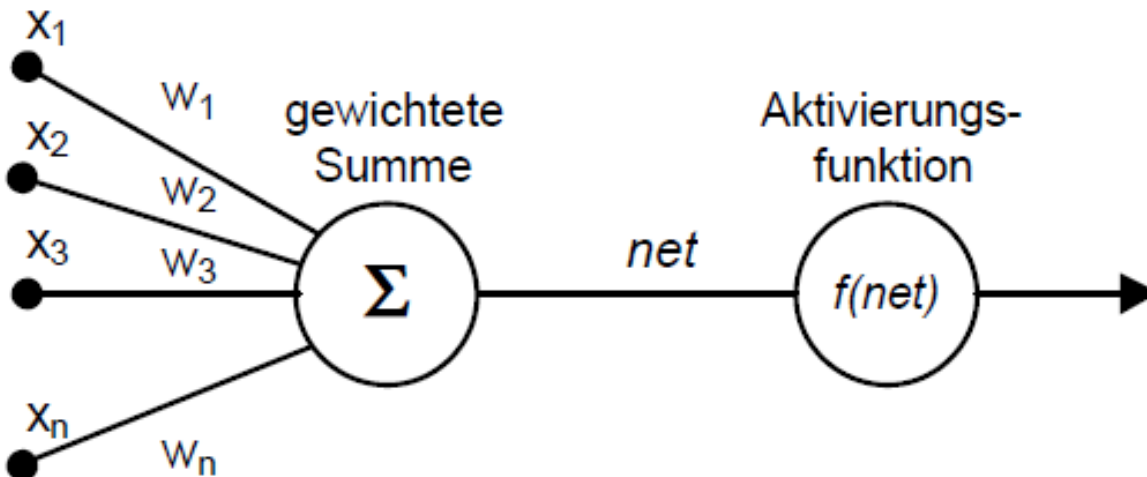
MATLAB-  
Befehlübersicht



# Neuron



- Neuron (natürlich / künstlich)



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

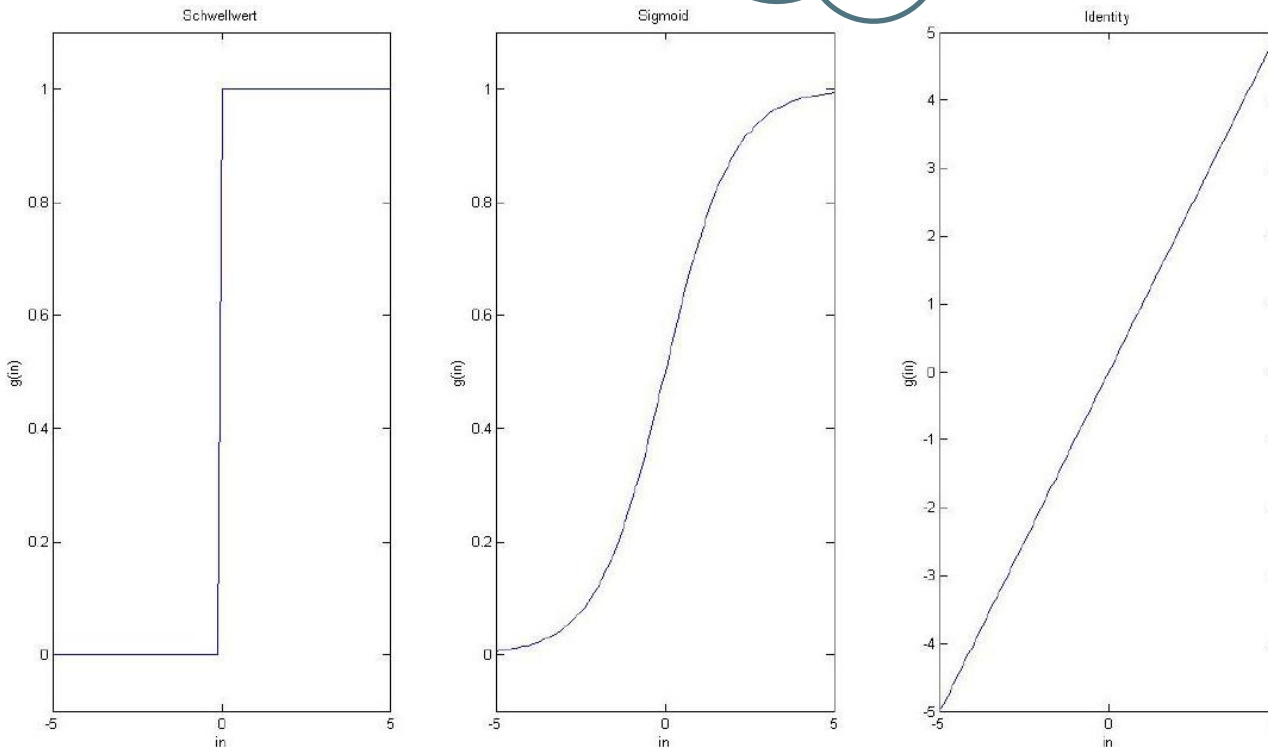
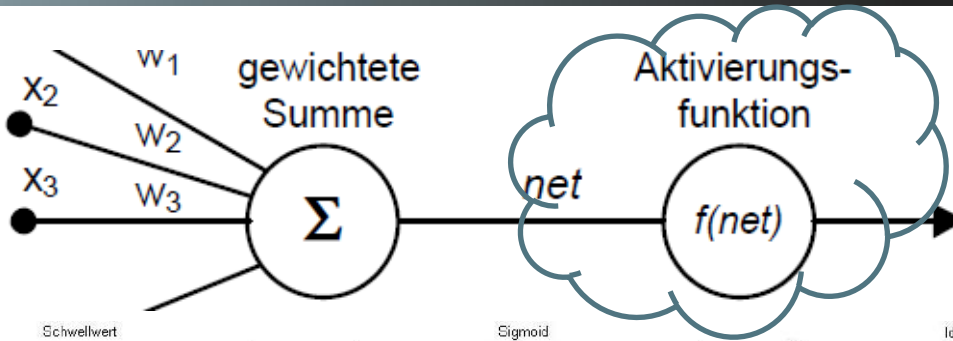
Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Aktivierungsfunktionen



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Verbindungen zwischen Neuronen



- Jedes Neuron ist mit anderen Neuronen verknüpft (abhängig vom Netztyp)
- Neuronen sind mit Kanten (Synapsen) verbunden. Jede Kante hat ein Gewicht. Je höher Absolut-Betrag, desto stärker der Einfluss.
  - positive Gewichte: erregenden Einfluss
  - negative Gewichte: hemmender Einfluss
  - Null: kein Einfluss

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Lernen



- Lernen = Modifizieren des Netzes gemäß einer vorgeschriebenen Lernregel
  - Neue Verbindungen erstellen
  - Verbindungen löschen
  - Neue Neuronen erstellen
  - Neuronen löschen
  - Modifikation des Schwellwertes
  - Modifikation der Aktivierungsfunktion
  - Modifikation der Verbindungsstärke / Gewichte

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Der Lernvorgang



Gewichten wird  
Zufallswert zugewiesen

Eingabe von  
Trainingsmuster

Wenn Ausgabe  
fehlerbehaftet: Anpassung  
der Gewichte

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht



Perzeptron

## NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG

# Geschichtlicher Hintergrund



- 1943 entwickelt von Warren McCulloch & Walter Pitts
  - Bewiesen: Logische Operationen (AND, OR, NOT) mit Perzeptron abbildbar
  - 1958 Frank Rosenblatt entwickelt Perzeptron-Modell
- ➔ bis heute Grundlage künstlich neuronaler Netze

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



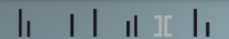
Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



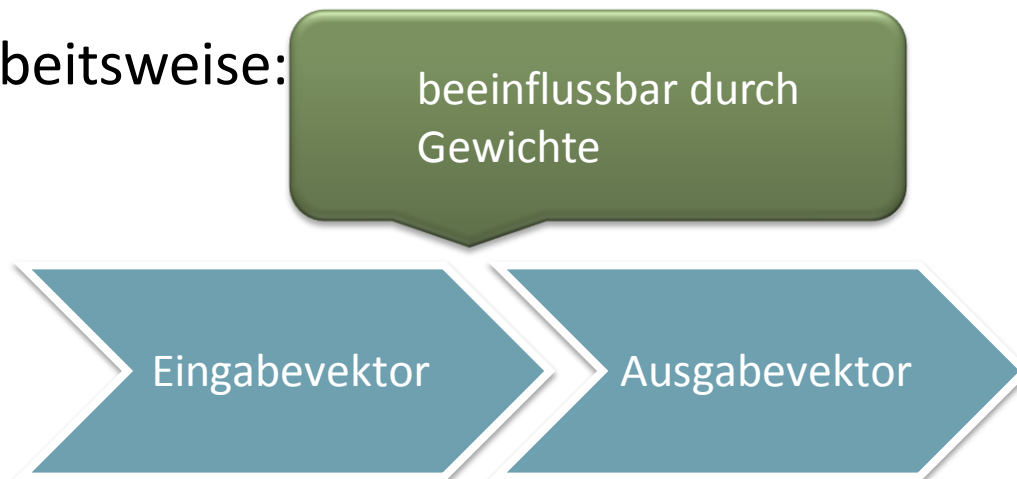
MATLAB-  
Befehlübersicht



# Definition



- vereinfachtes künstliches neuronales Netz
- besteht aus einem künstlichen Neuron
- Arbeitsweise:



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung

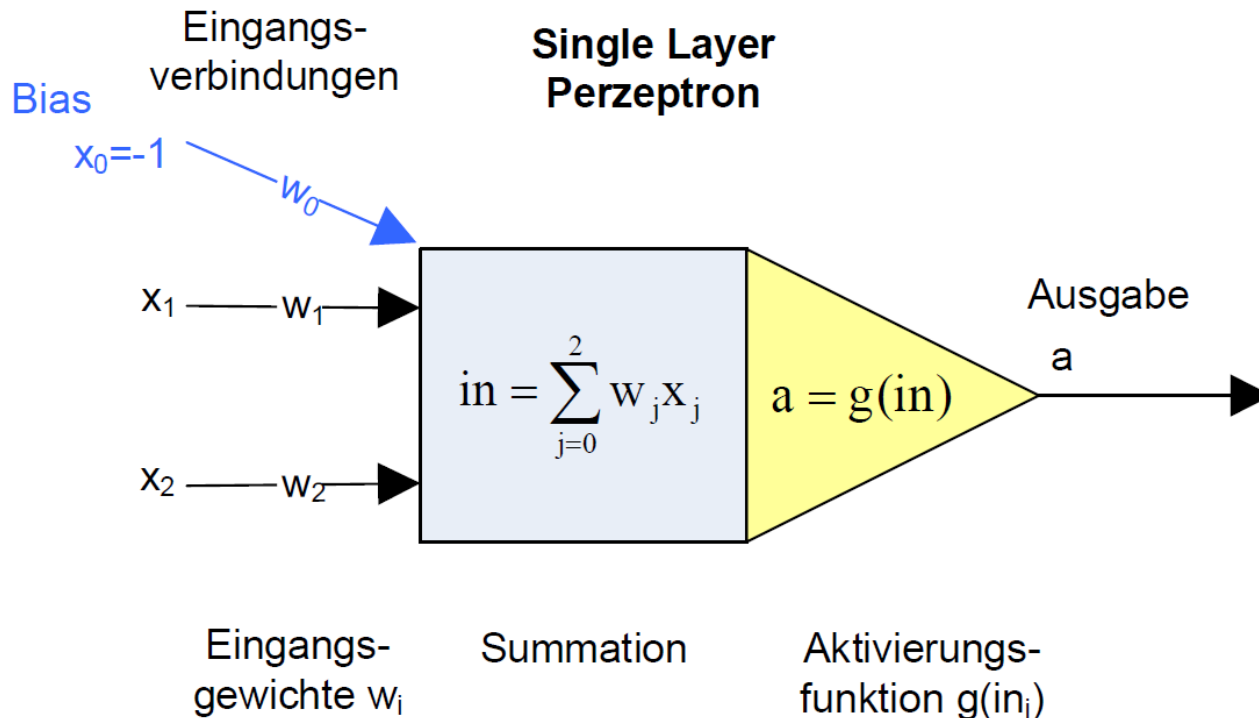


Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Aufbau



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



$$\sum_{j=1}^2 w_j x_j = w_2 x_2 + w_1 x_1 + w_0 x_0 = a$$

$P(x_1 | x_2)$  bzw.  $P(x | y)$  und  $x_0 = -1$

$$w_2 y + w_1 x + w_0 x_0 = 0$$

$$y = -\left(\frac{w_1}{w_2}\right)x - \left(\frac{w_0 x_0}{w_2}\right)$$

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

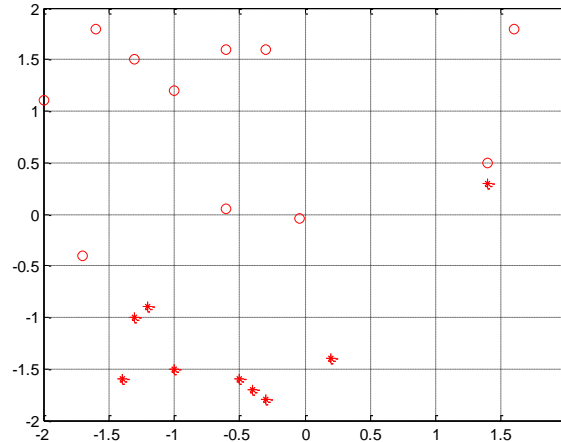
MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



$$y = -\left(\frac{w_1}{w_2}\right)x - \left(\frac{w_0 x_0}{w_2}\right)$$

$$a = w_2 y + w_1 x + w_0 x_0$$



- Ziel: Geradengleichung ( $\vec{w}$ ) finden, die o und \* Punkte trennt

–Klassifizierung: o Punkte:  $a > 0$

–Klassifizierung: \* Punkte:  $a \leq 0$

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung

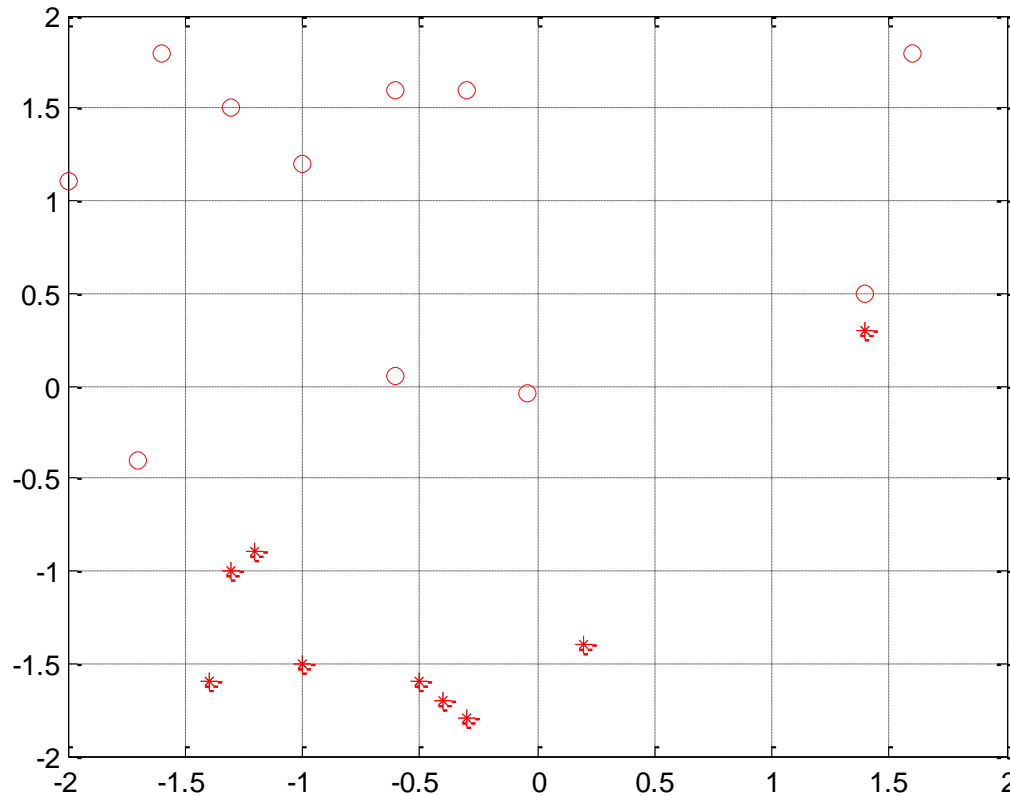


Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



Gewichten wird Zufallswert zugewiesen

Eingabe von Trainingsmuster

Wenn Ausgabe fehlerbehaftet: Anpassung der Gewichte

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

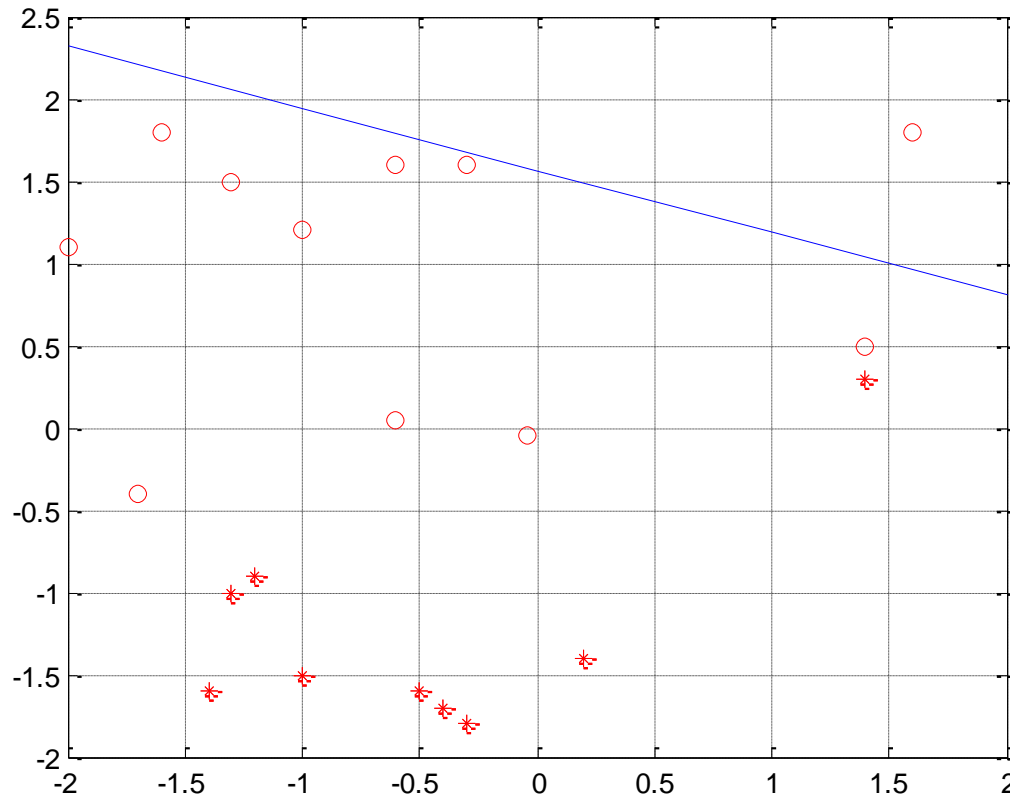
Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



Gewichten wird Zufallswert zugewiesen

Eingabe von Trainingsmuster

Wenn Ausgabe fehlerbehaftet: Anpassung der Gewichte

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

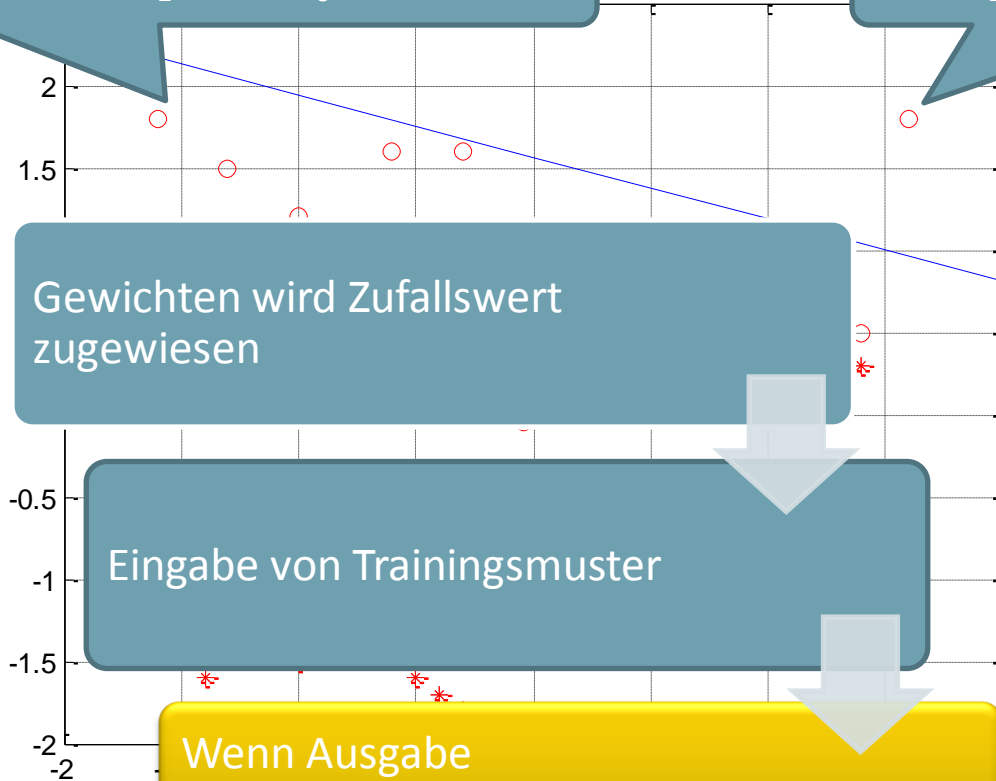
MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



$$a = w_2 * -1,6 + w_1 * 1,8 + w_0 * -1 = -0,276$$

$$a = w_2 * 1,6 + w_1 * 1,6 + w_0 * -1 = 0,510$$



Begriffsdefinitionen  
nes

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



- Lernregel (Anpassung des Gewichtsvektors)
  - Wenn Punkt o falsch zugeordnet wurde:

$$\begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_0^* \\ w_1^* \\ w_2^* \end{pmatrix}$$

- Wenn Punkt \* falsch zugeordnet wurde:

$$\begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_0 \\ x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_0^* \\ w_1^* \\ w_2^* \end{pmatrix}$$

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung

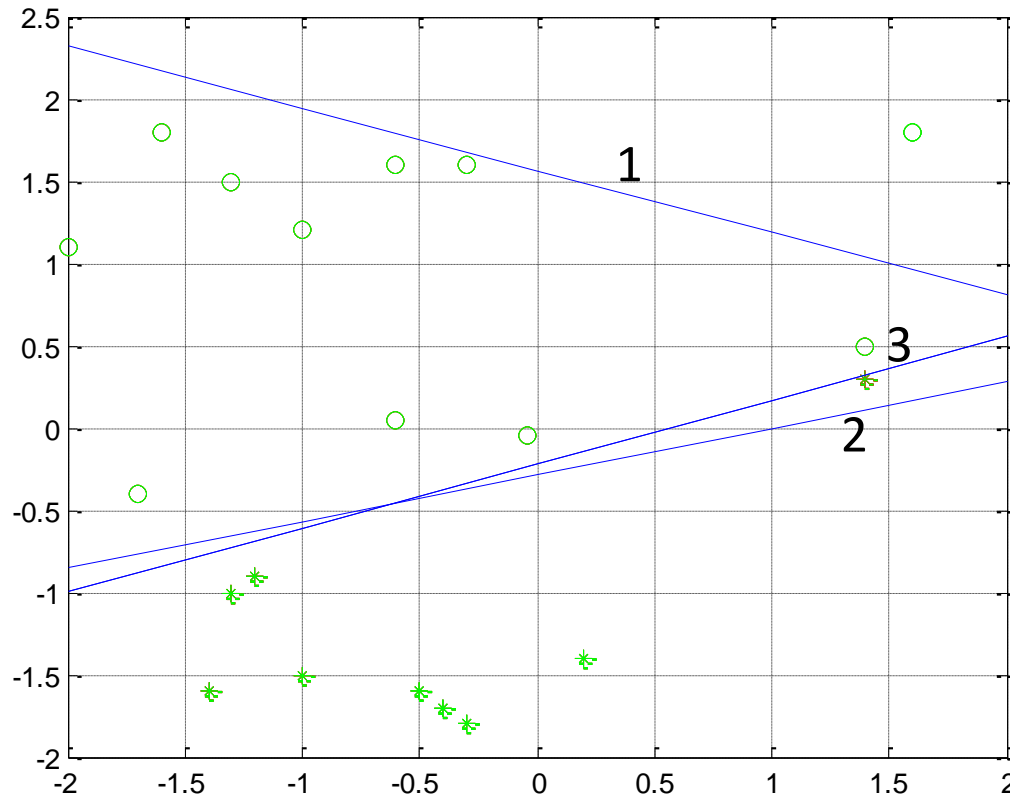


Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Anwendung



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht



Hopfield-Netze / Mustererkennung

## NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG

# Hopfield-Netze



- Erfunden 1982 von John Hopfield
- Hopfield-Netze sind eine spezielle Unterklasse der neuronalen Netze
- Sie bilden einen sogenannten

## **Autoassoziativspeicher**

- Normaler Speicher: Zugriff auf Inhalt über Adresse
- Autoassoziativspeicher: Zugriff auf Inhalt über Bruchstücke des Inhalts selbst

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung

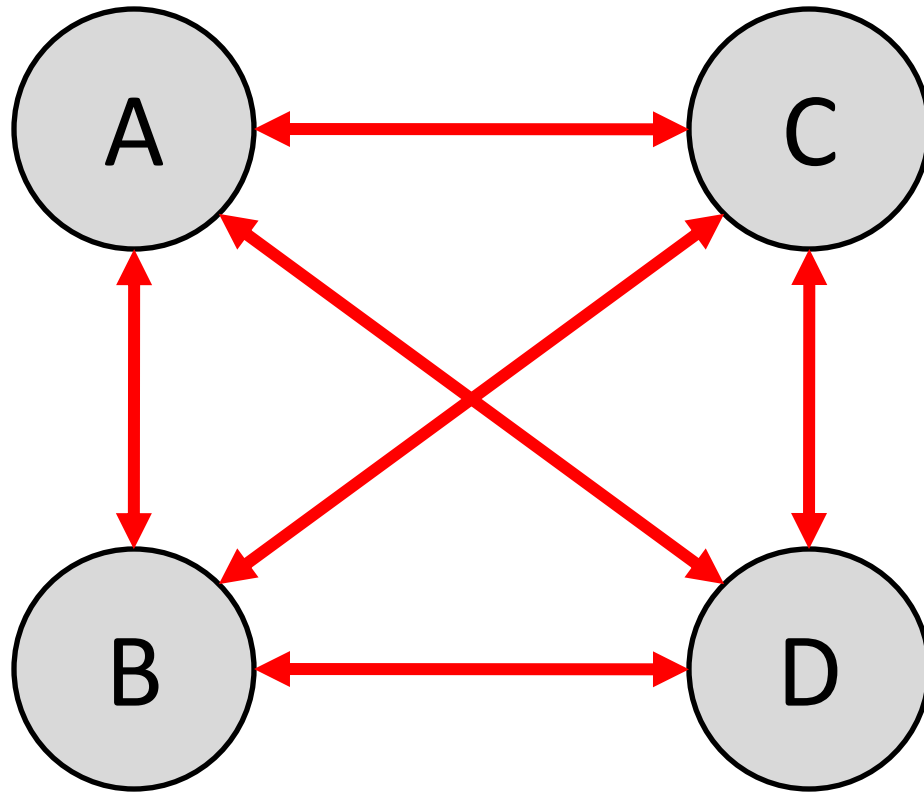


Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



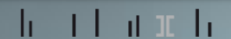
Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

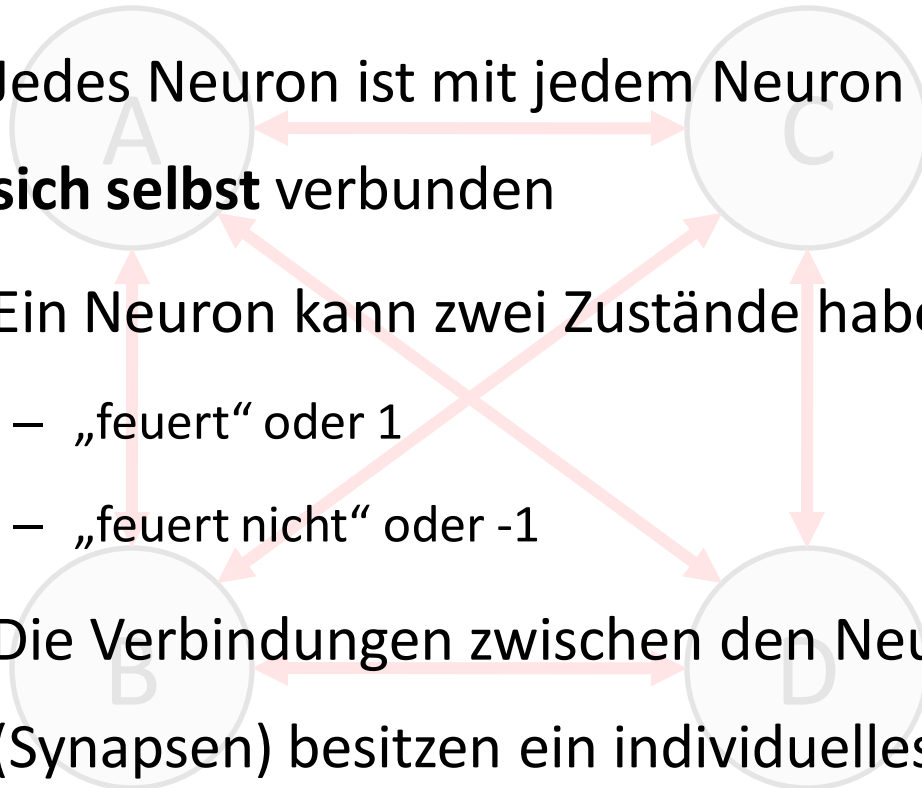


HOCHSCHULE DER MEDIEN

# Hopfield-Netze



- Bidirektionale Verbindungen
- Jedes Neuron ist mit jedem Neuron **außer sich selbst** verbunden
- Ein Neuron kann zwei Zustände haben:
  - „feuert“ oder 1
  - „feuert nicht“ oder -1
- Die Verbindungen zwischen den Neuronen (Synapsen) besitzen ein individuelles Gewicht



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- Ein Hopfield-Netz muss zur Mustererkennung zunächst „trainiert“ werden
- Dies erfolgt durch Konfiguration der synaptischen Gewichte
- Die Gewichte werden mittels der Hebbschen Lernregel ermittelt

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



$$\Delta w_{ij} = \eta \cdot a_i \cdot a_j$$

Gewichtsänderung zwischen Neuron i und j

Lernrate (konstanter Faktor)

Aktivitätslevel von Neuron i

Aktivitätslevel von Neuron j

- Wenn Neuron i und j im gleichen Aktivierungszustand sind, verstärkt sich die Verbindung zwischen ihnen

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



Anwendung der Hebbschen Lernregel bei Hopfield-Netzen

$$W_{ij} = W_{ji} = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M_i^k \cdot M_j^k & \text{falls } i \neq j \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$W_{ij}$  Gewicht der Verbindung zwischen  $i$  und  $j$

$n$  Anzahl der Muster

$M^1, M^2, \dots, M^k$  Muster mit Aktivierungswerten  $-1$  und  $1$

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- Nach der Ermittlung der synaptischen Gewichte ist das Netz bereit zur Mustererkennung
- Die Eingabe eines (verrauschten oder unvollständigen) Musters zur Erkennung des zugehörigen gelernten Musters erfolgt durch Setzen der Neuronen in den Aktivierungszustand, der dem Muster entspricht

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

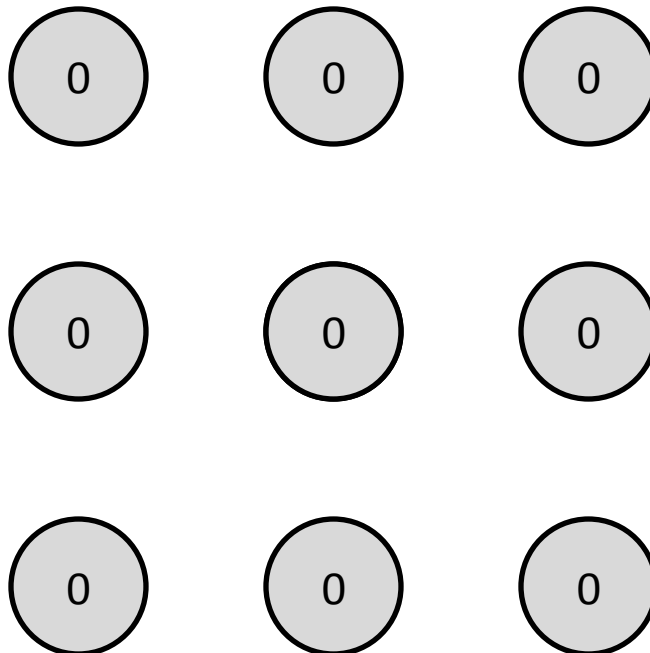
Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

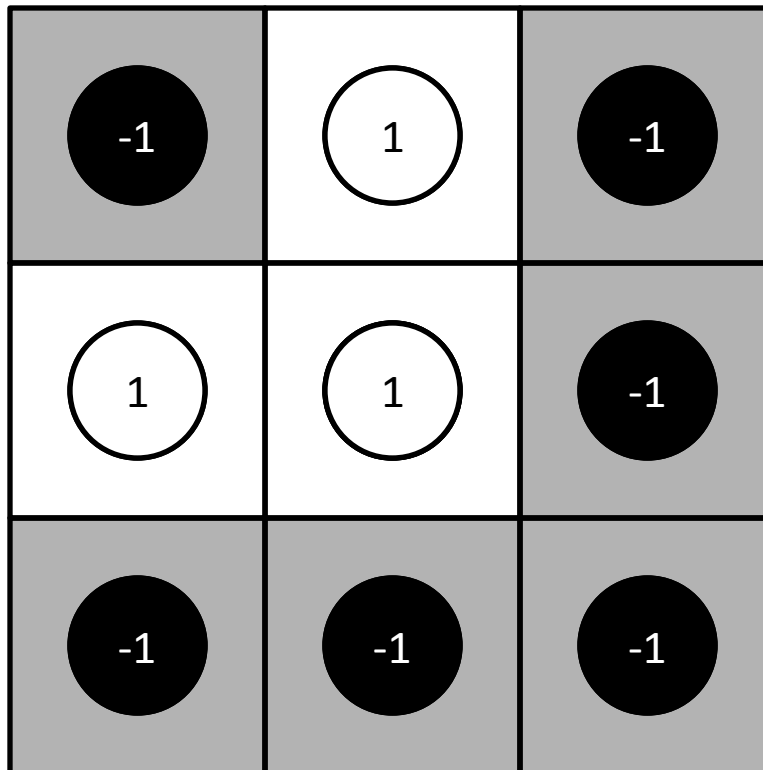
Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



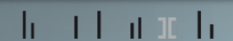
Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest

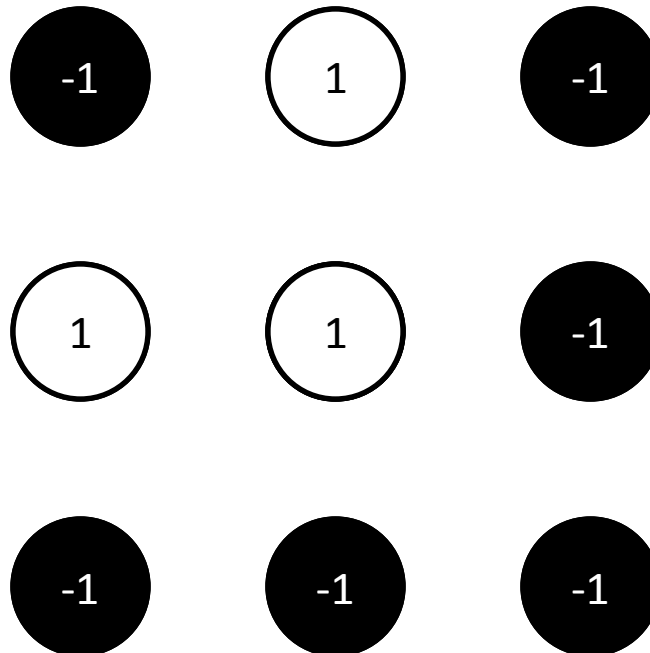


MATLAB-  
Befehlübersicht



HOCHSCHULE DER MEDIEN

# Hopfield-Netze



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- Die eigentliche Mustererkennung besteht aus einem iterativen Verfahren
- Dabei werden die Neuronen mit folgender Regel aktualisiert:

$$s_i = \begin{cases} 1 & \text{falls } \sum_{j=1}^N w_{ij} \cdot s_j > t_i \\ -1 & \text{sonst} \end{cases}$$

Anzahl Neuronen

Schwellenwert des Neurons  $i$

Zustand des Neurons  $j$

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- **Asynchrone Änderung**

```
Initialisiere Startzustand gemäß zu erkennendem Muster
do {
  wähle zufälliges Neuron i
  for(Neuron j : alle mit i verbundenen Neuronen) {
    berechne neuen Zustand von i abhängig von j
  }
} while(System nicht in stabilem Endzustand)
```

- **Synchrone Änderung**

```
Initialisiere Startzustand gemäß zu erkennendem Muster
do {
  for(Neuron i : alle Neuronen) {
    for(Neuron j : alle mit i verbundenen Neuronen) {
      berechne neuen Zustand von i abhängig von j
    }
  }
} while(System nicht in stabilem Endzustand)
```

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



**Hopfield-Netze**  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- Bei den Iterationen strebt das Hopfield-Netz einen stabilen Zustand an
- Dieser Zustand entspricht im Idealfall dem erkannten Originalbild
- Ein Hopfield-Netz erreicht jedoch unabhängig vom Erfolg bei der Mustererkennung **immer** einen stabilen Endzustand

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



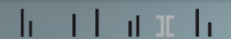
Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht



# Hopfield-Netze



- Die Speicherkapazität eines Hopfield-Netzes ist begrenzt und abhängig von der Anzahl Neuronen

$$\frac{L}{N} \leq 0,138$$

$L$  Anzahl zu speichernder Muster

$N$  Anzahl Neuronen

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- Beim praktischen Einsatz von Hopfield-Netzen ist die Performance ein kritischer Faktor
- Da jedes Neuron mit allen anderen Neuronen vernetzt wird, ergeben sich sowohl für den Lernvorgang als auch den Erkennungsvorgang  $O(n^2)$  Schritte

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

MATLAB-  
Befehlübersicht

# Hopfield-Netze



- Auch der Speicherverbrauch für das Netz steigt quadratisch mit der Zahl der Neuronen
- Die Zahl der Neuronen wiederum steigt quadratisch mit der Auflösung der Muster
- Die Erkennung von Musterbildern mit höheren Auflösungen (>50x50 Pixel) mittels eines einzelnen Netzes wird daher schnell unmöglich

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines

Perzeptron  
Klassifizierung

Hopfield-Netze  
Mustererkennung

Contest

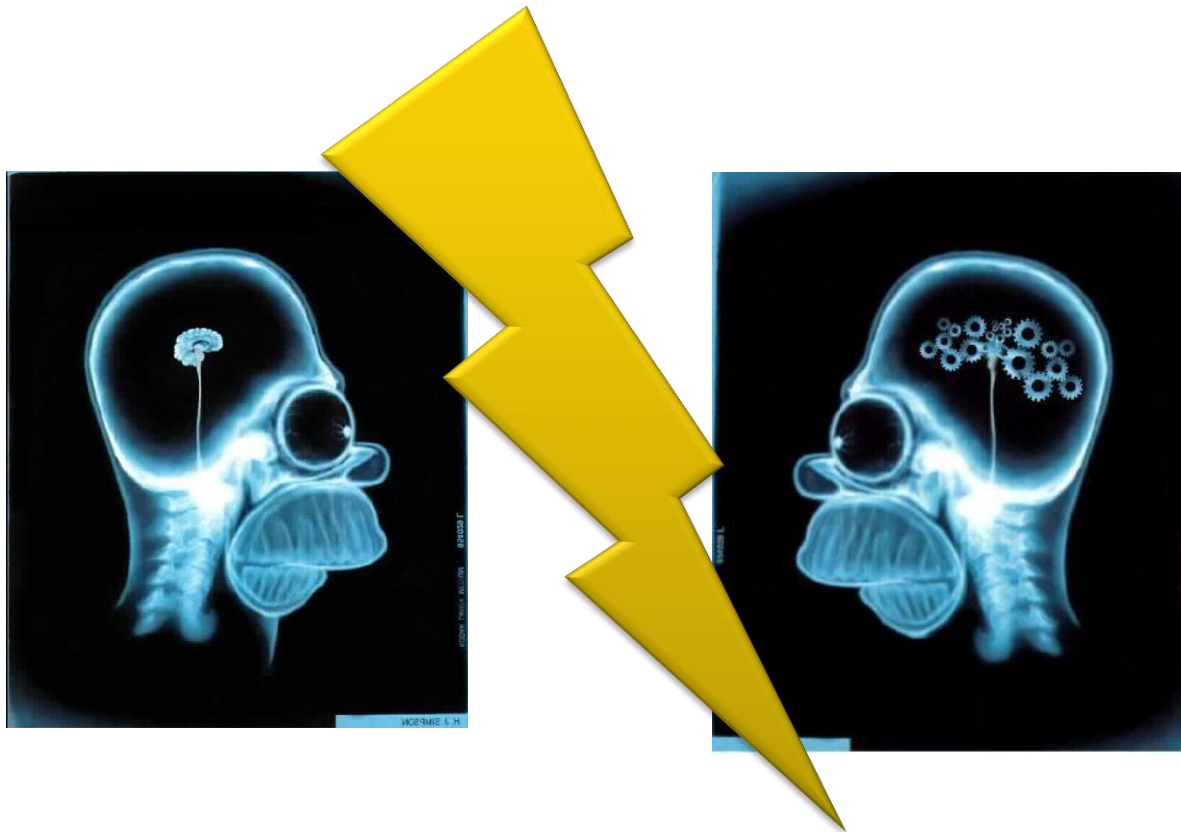
MATLAB-  
Befehlübersicht



Contest

## NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG

# Contest



Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



MATLAB-  
Befehlübersicht



MATLAB Befehlsübersicht

## NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG

# Versuch I: Klassifizierung mit Perzeptron



- Zugriff auf ein Element:  
**x(zeile,spalte)**
- Zugriff auf alle Zeilen und Spalte 2:  
**x(:,2)**
- Zufallswerte [-2, ..., 2] für Vektor mit 20 Zeilen, 2 Spalten:  
**-2+(4\*(rand(20,2)))**
- For Schleife:  
**for i=1:5**  
    ...  
**end**
- Benutzereingabe:  
**v = input(['Text']);**
- o Punkt zeichnen (rot):  
**plot(x, y, 'or');**
- \* Punkt zeichnen (grün):  
**plot(x, y, '\*g');**
- If Bedingung:  
**if x>0**  
    ...  
**else**  
    ...  
**end**
- Gitter anzeigen, Figur beibehalten:  
**grid on; hold on;**

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



**MATLAB-**  
Befehlübersicht

# Versuch 2: Mustererkennung mit Hopfield-Netz



- Matrix mit 10 Spalten, 10 Zeilen gefüllt mit 1en:  
**ones(10,10)**
- Jedes Element einer Matrix mit dem zugehörigen Element einer zweiten Matrix multiplizieren:  
**M.\*S**
- Matrix in Spaltenvektor mit 100 Zeilen umwandeln:  
**reshape(v, 100, 1)**
- Matrix zeichnen:  
**imagesc(M)**
- Neues Hopfield-Netz erzeugen:  
**net = newhop([Spaltenvektor\_Muster\_1, Spaltenvektor\_Muster\_2, ...]);**
- Hopfield-Netz simulieren:  
**sim(net, 1, [], Spaltenvektor\_GestörtesMuster);**

Begriffsdefinitionen  
Allgemeines



Perzeptron  
Klassifizierung



Hopfield-Netze  
Mustererkennung



Contest



**MATLAB-  
Befehlübersicht**





- Skript „Künstliche Intelligenz“; Prof. Dr. Johannes Maucher; HdM Stuttgart
- „Neuronale Netze: Lässt sich das Denken simulieren?“; Benjamin Polak; Universität Erlangen: Artificial Intelligence
- Neuronale Netze; Universität für angewandte Kunst Wien
- Wikipedia: Perzeptron; Hopfield-Netze (DE, EN)
- Neuronale Netze: eine Einführung;  
[www.neuronalesnetz.de](http://www.neuronalesnetz.de); Günter Daniel Rey



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

**NEURONALE NETZE UND MUSTERERKENNUNG**