

## AUFGABE 1:      **Entscheidungsbäume**

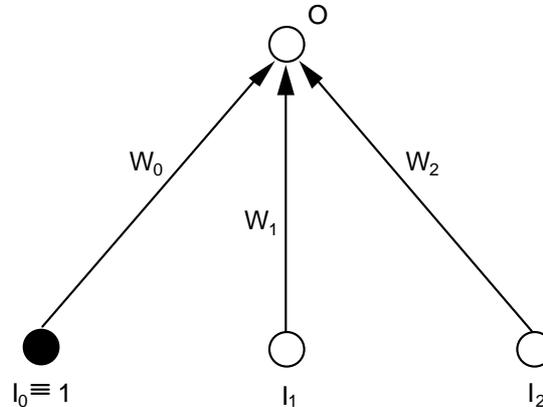
Betrachten Sie das folgende Klassifizierungsproblem:

Objekt	Attributwerte		Klassifizierung
	X	Y	
A	3	1	-
B	2	3	+
C	2	1	-
D	3	3	+
E	2	2	+
F	1	3	-
G	1	1	-
H	4	3	+
I	3	2	-
J	4	1	
K	1	2	
L	4	2	

- 1) Bestimmen Sie die zwei möglichen Entscheidungsbäume für die Klassifizierung der Objekte A bis I.
- 2) Wie klassifizieren diese Entscheidungsbäume die Objekte J, K und L?  
Welcher Klassifizierung geben Sie den Vorzug, und warum?
- 3) Welcher der beiden Bäume wird durch das ID3-Verfahren gewählt?  
[Berechnung der Entropieabnahme für den ersten Entscheidungsschritt!]

## AUFGABE 2: Perceptron

Betrachten Sie ein Perceptron mit 2 Inputneuronen, einer Schwelle und einem Outputneuron,



$$O = \text{sign}(W_0 I_0 + W_1 I_1 + W_2 I_2), \quad \text{sign}(x) = \begin{cases} +1 & \text{falls } x \geq 0 \\ -1 & \text{falls } x < 0 \end{cases}$$

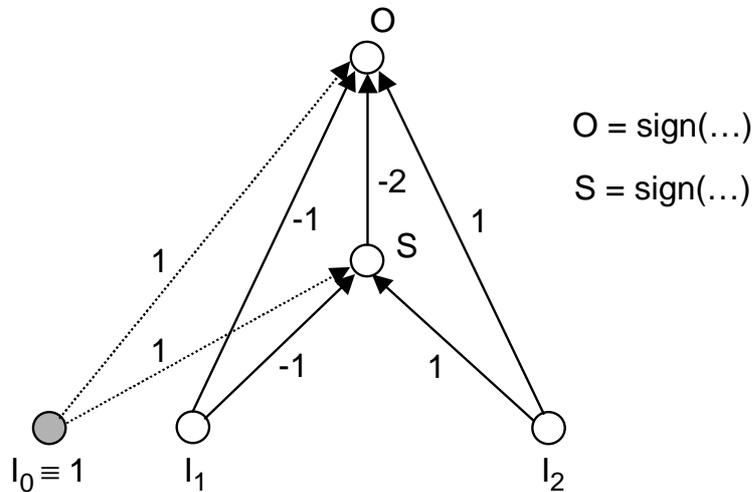
und die folgenden 3 Lernbeispiele ( $D = \text{gewünschter Output}$ ):

Lernbeispiel	$I_1$	$I_2$	$D$
a	+1	-1	+1
b	0	-1	-1
c	-1	0	+1

- 1) Wählen Sie als Anfangsgewichte  $W_0 = 1$ ,  $W_1 = 1.5$  und  $W_2 = 3$ . Präsentieren Sie dann die 3 Lernbeispiele je einmal [Reihenfolge a, b, c], und ändern Sie die Gewichte jedesmal gemäss dem Perceptron-Lernverfahren [mit  $\eta = \frac{1}{4}$ ].
- 2) Klassifiziert der so erhaltene Satz von Gewichten bereits alle Lernbeispiele richtig?
- 3) Stellen Sie die Klassifizierung des entsprechenden Perceptrons in der  $(I_1, I_2)$  – Ebene graphisch dar.

### AUFGABE 3: Feedforward-Netzwerk

Betrachten Sie das folgende Feedforward-Netzwerk:



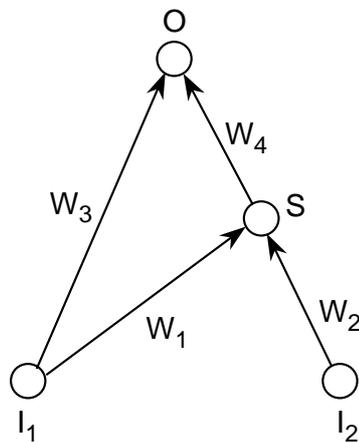
- 1) Zeigen Sie, dass dieses Netzwerk das XOR-Problem löst.  
 [D = gewünschter Output]

<u>XOR:</u>	$I_1$	$I_2$	D
	+1	+1	-1
	+1	-1	+1
	-1	+1	+1
	-1	-1	-1

- 2) Bestimmen Sie die Bereiche im Inputraum  $[-\infty < I_1, I_2 < +\infty]$ , in denen der Output O den Wert +1 annimmt, und stellen Sie diese auch graphisch dar.

## AUFGABE 4:      **Error-Backpropagation**

Gegeben sei das folgende Feedforward-Netzwerk:



$$O = f(W_3 I_1 + W_4 S) \equiv f(V)$$

$$S = f(W_1 I_1 + W_2 I_2) \equiv f(U)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

- 1) Bestimmen Sie mit Hilfe des Backpropagation-Algorithmus und der Fehlerfunktion

$$F = D \ln \frac{D}{O} + (1-D) \ln \frac{1-D}{1-O} \quad [D = \text{gewünschter Output}]$$

einen analytischen Ausdruck für die Gewichtsänderung  $\Delta W_1$ .

Hinweis: Beachten Sie, dass  $\frac{df}{dx} = f(x) [1 - f(x)]$ ,

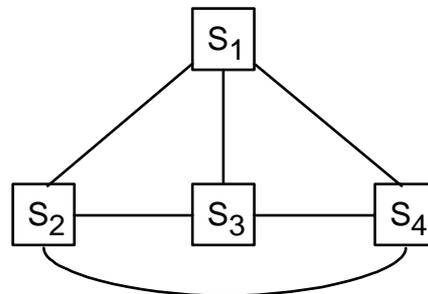
$$\text{d.h.:} \quad \frac{dO}{dV} = O(1-O), \quad \frac{dS}{dU} = S(1-S).$$

- 1) Vergleichen Sie diesen Ausdruck für  $\Delta W_1$  mit demjenigen, den Sie bei Verwendung der üblichen quadratischen Fehlerfunktion erhalten, d.h. wenn

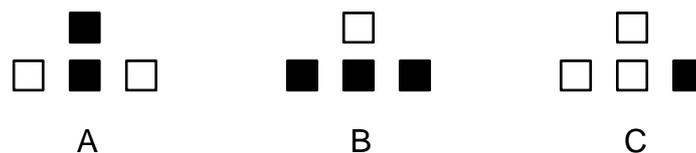
$$F = \frac{1}{2} (D - O)^2.$$

## AUFGABE 5: Hopfield-Netzwerk

Betrachten Sie das folgende Hopfield-Netzwerk:



Benutzen Sie die Hebb'sche Lernregel, um in diesem Netzwerk die drei Muster A, B und C zu speichern:

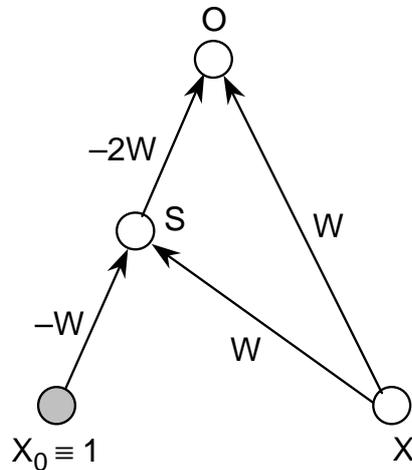


( wobei:  $\blacksquare$  :  $S_i = 1$  ,  $\square$  :  $S_i = -1$  )

- 1) Welche Werte ergeben sich für die Gewichte der 6 Verbindungen?
- 2) Zeigen Sie, dass mit diesen Gewichtswerten die Muster B und C keine stabilen Zustände des Netzwerks sind.
- 3) Vergleichen Sie die Energien dieser Muster mit der Energie des stabilen Musters A.

## AUFGABE 6:      Stochastische Neuronen

Im folgenden Feedforward-Netzwerk



bezeichnen O und S die Zustandsvariablen von stochastischen Neuronen, welche die Werte 1 oder 0 annehmen können:

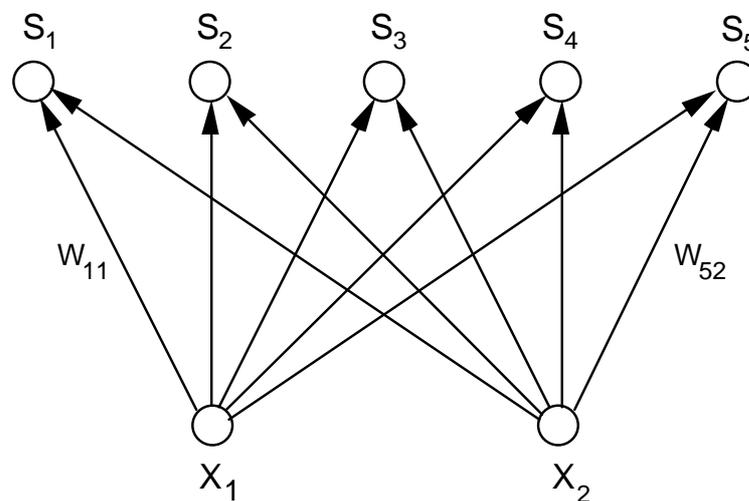
$$O \text{ bzw. } S = \begin{cases} 1 & \text{mit Wahrscheinlichkeit } p \\ 0 & \text{mit Wahrscheinlichkeit } 1-p \end{cases}$$

$$\text{wobei } p = \frac{1}{1 + \exp(-\text{Input})}$$

- 1) Bestimmen Sie  $P(O = 1)$ , d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass O den Wert 1 annimmt, als Funktion von X und W.
- 2) Skizzieren Sie den Verlauf von  $P(O = 1)$  als Funktion von X ( $-\infty < X < +\infty$ ) im Limes  $W \rightarrow +\infty$ .

## AUFGABE 7: Winner-Take-All Netzwerke

- 1) Wie werden in einem sogenannten Winner-Take-All Netzwerk die Werte der Output-Neuronen berechnet?
- 2) Wie werden bei einem (einfachen!) kompetitiven Lernverfahren die Gewichte eines Winner-Take-All Netzwerks verändert?
- 3) Betrachten Sie das folgende Winner-Take-All Netzwerk,



$$\begin{array}{ccccc} W_{11} = 0.1 & W_{21} = 0.1 & W_{31} = 0.5 & W_{41} = 0.9 & W_{51} = 0.9 \\ W_{12} = 0.9 & W_{22} = 0.3 & W_{32} = 0.7 & W_{42} = 0.3 & W_{52} = 0.9 \end{array}$$

und bestimmen Sie (graphisch) die Winner-Gebiete der 5 Outputneuronen im Inputraum  $[0 < X_1, X_2 < 1]$ .

## AUFGABE 8:      **Design eines neuronalen Netzwerks**

Ein Spital will für den Entscheid über die Behandlung von Patienten mit Bauchschmerzen ein neuronales Netzwerk einsetzen. Es wird ein Feedforward-Netzwerk gewählt, das mit dem Backpropagation-Lernalgorithmus trainiert werden soll. Jedes Trainingsbeispiel (existierende Patientendaten) enthält die folgenden Informationen:

### Input-Daten:

- Körpertemperatur                      (36 ..... 42 °C)
- Blutdruck                                (90 ..... 200)
- Anzahl Leucozyten                    (5'000 ..... 50'000 pro  $\mu$ l)
- Stärke der Schmerzen                (stark, mittel, schwach)
- Ort der Schmerzen                    (links, Mitte, rechts)

### Behandlungsentscheid:

- 3 Möglichkeiten:
- operieren
  - medikamentöse Behandlung
  - keine Behandlung

Diskutieren Sie die folgenden Aspekte beim Design des neuronalen Netzwerks:

- 1) Vorverarbeitung der kontinuierlichen Inputdaten (Körpertemperatur, Blutdruck, Anzahl Leucozyten).
- 2) Codierung der diskreten Inputdaten (Stärke und Ort der Schmerzen): Anzahl Inputneuronen?, Vor- und Nachteile verschiedener Alternativen?
- 3) Der Behandlungsentscheid wird durch 3 kontinuierliche Outputneuronen dargestellt [ $0 \leq O_1, O_2, O_3 \leq 1$ ].

- Wie interpretieren Sie die folgenden Output-Beispiele?

<b>O<sub>1</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>
0.8	0.2	0.1
0.7	0.8	0.2
0.5	0.4	0.6
0.1	0.1	0.4

- Machen Sie einen Vorschlag für die Interpretation der Outputdaten, bei dem auch ein Nullentscheid (*“weitere Untersuchungen”*) zugelassen ist,  
z.B.      *“operieren” falls Regel<sub>1</sub> (O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>),  
etc.*