

I Was sind neuronale Netzwerke?

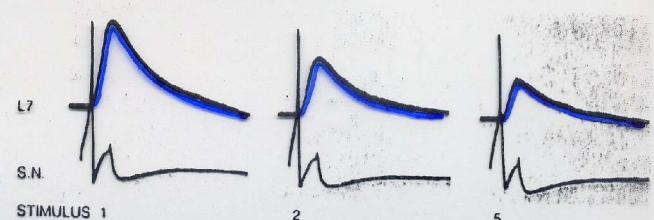
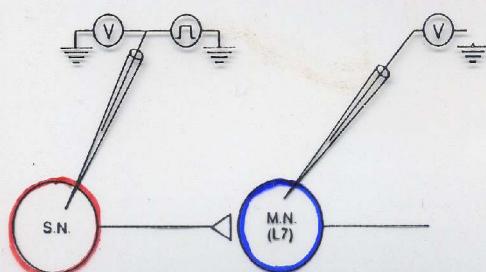
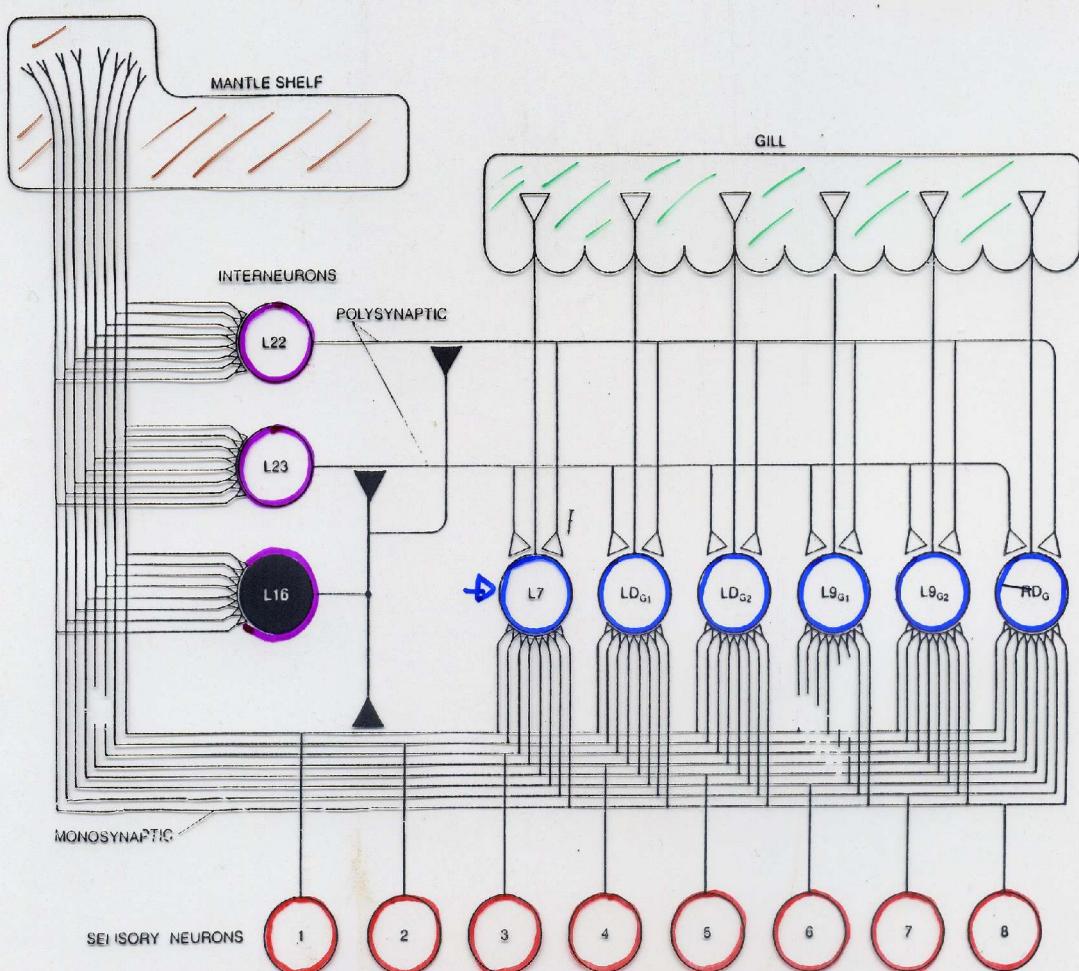
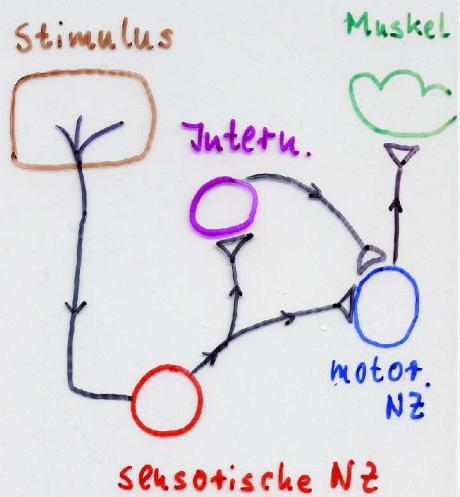
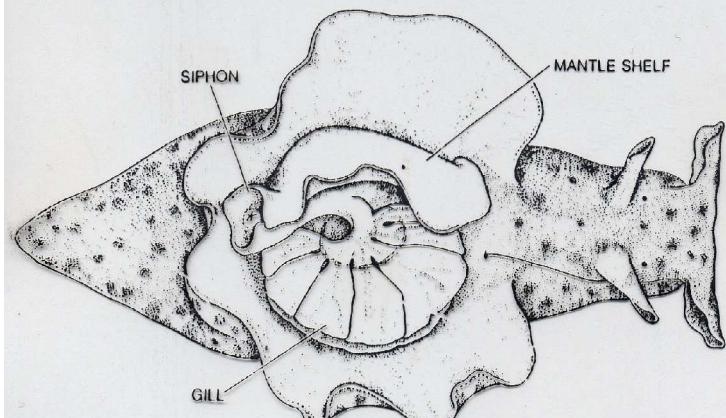
• Biologische Netzwerke

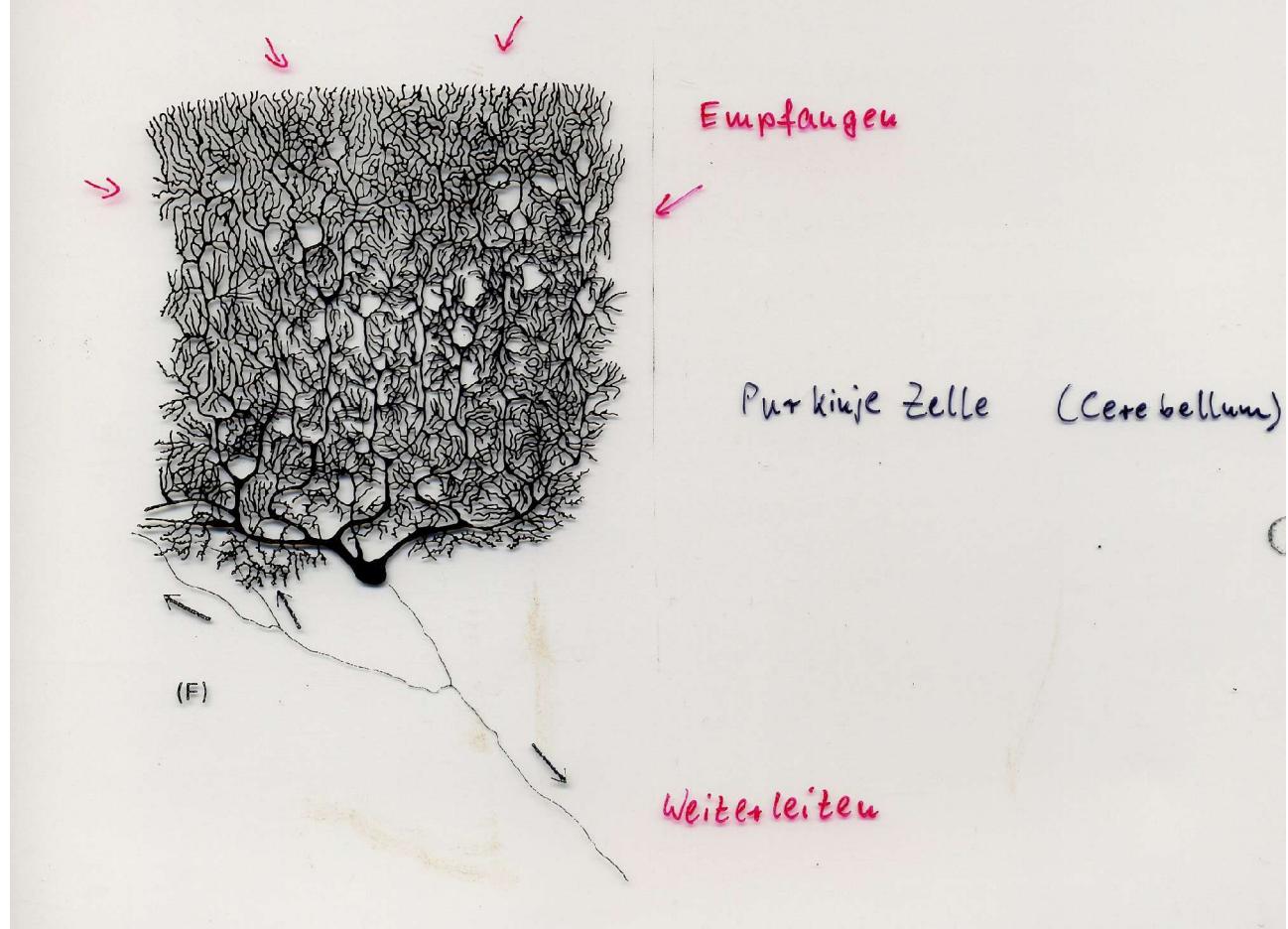
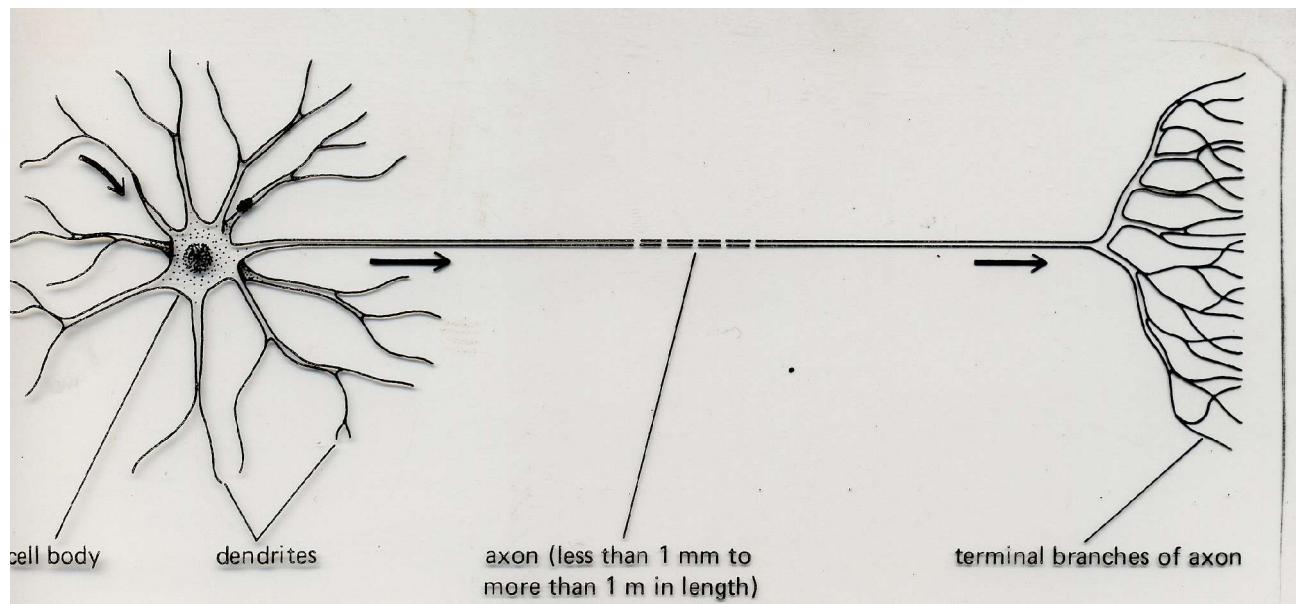
- Informationsverarbeitung im Nervensystem durch Aussenden, Weiterleiten und Empfangen von elektrischen Signalen durch die Nervenzellen (motorische, sensotische, Interneurone)
- Außenwelt repräsentiert als raumzeitliche Aktivitätsmuster der Nervenzellen
- Information über die Außenwelt gespeichert in den Wechselwirkungen (chemische Synapsen) zwischen den Nervenzellen → Ort des Gedächtnis

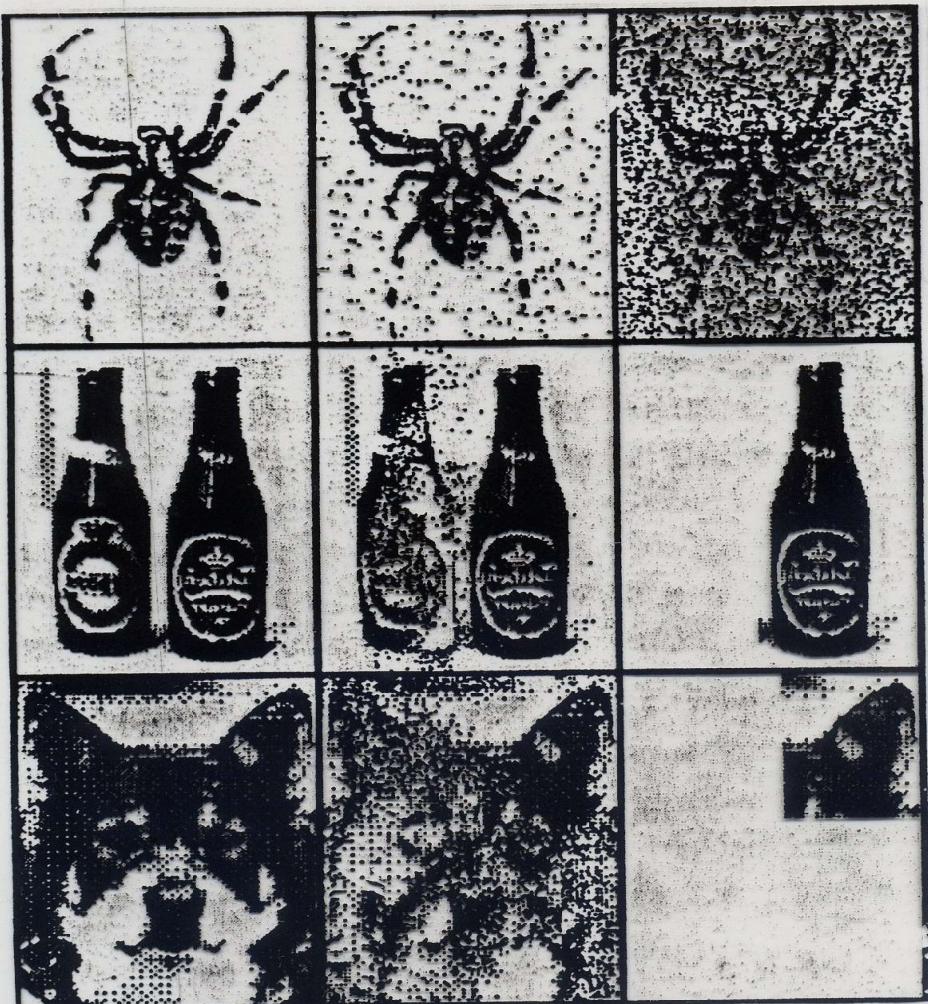
• Künstliche (technische) Netzwerke, Netzwerkmodelle

- Bausteine: formale Neutone und ihre Wechselwirkungen
- Modellierung von Funktionen des Nervensystems
- Was können neuronale Netze leisten?
 - a) in der Informationsverarbeitung:
Erkennen, Assoziation, Motorsteuerung, ...
 - b) in der Anpassung an eine vorgegebene Aufgabe
Dynamik des Lernens, Verallgemeinerung, ...

Beispiel : Aplysia (E. kandel)







Sequenzen

$$B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow H$$

durch "Ausspielen des 1. Tons."

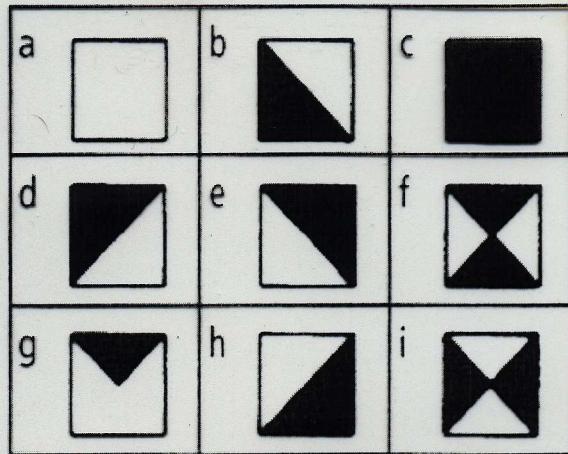
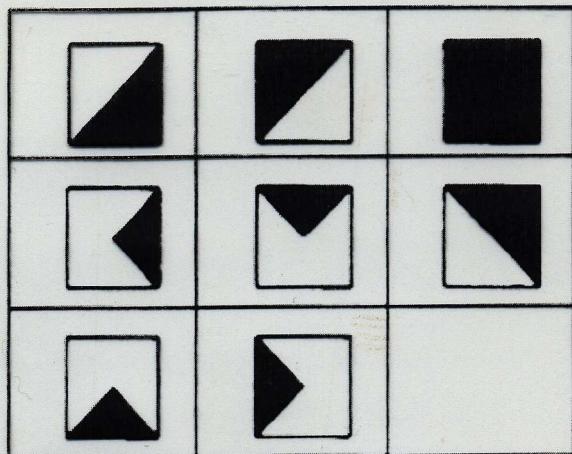


Eins von diesen Dingen ist nicht wie die anderen!

Sinnvoll ergänzen

Sie sehen ein Rechteck mit 8 Figuren. Welcher der vorgegebenen 9 Lösungsvorschläge (rechts, a-i) passt als einziger in das freie 9. Feld?

1. Beispiel:



Lösung: b

Intelligenz (?) Test

globale Speicherung → Künstliche Intelligenz

elementarer Zeitschritt e. Nervenzelle 10^{-3} s
" " e. Computers 10^{-9} s

Rechner ist 10^6 mal schneller

Aufgabe: Sortiere einen Stapel von Passbildern
in weibliche und männliche Personen

Wet ist schneller?

Neuronale Netze sind aufgebaut aus vielen

Bausteinen } Neurone
 elektr. Schaltkreise } die stark miteinander
wechselwirken } Synapsen
 } Verbindungen

komplexe Leistungen gehen weit über die Fähigkeiten
des einzelnen Bausteins hinaus →

Informationsverarbeitung ist kollektive Leistung d. Gesamt
systems

- Statistische Physik: Verständnis des kooperativen Verhaltens aus den molekularen Bausteinen
- Was leisten neuronale Netzwerke?
 - Assoziatives Gedächtnis (Bild, Sequenz, ...)
 - Klassifikation
 - :

Konventionelle Speicherung
lokal; Information wird
abgerufen durch Angabe
einer Adresse:

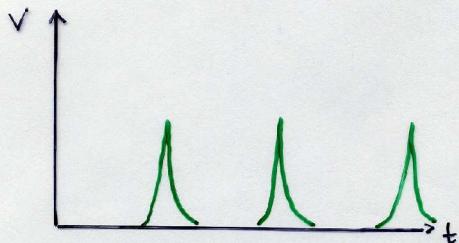
2 Reihe von unten, 3 Schub-
Lade von links;



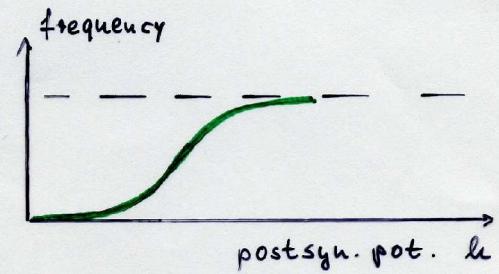
II Modell

Zweizustandsmodell für ein Neuron:

$$S = \begin{cases} +1 & \text{aktiv} \\ -1 & \text{passiv} \end{cases}$$



aktiv \approx single spike



aktiv \approx lokale Feuerrate

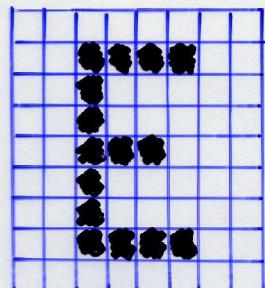
Zustand des Netzwerks aus N Neuronen zur Zeit t

$$Z(t) = \{S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)\}$$

z.B. {+, -, +, +}

Zeitentwicklung d. Netzwerks:

$Z(t+\Delta t)$ gegeben $Z(t)$?



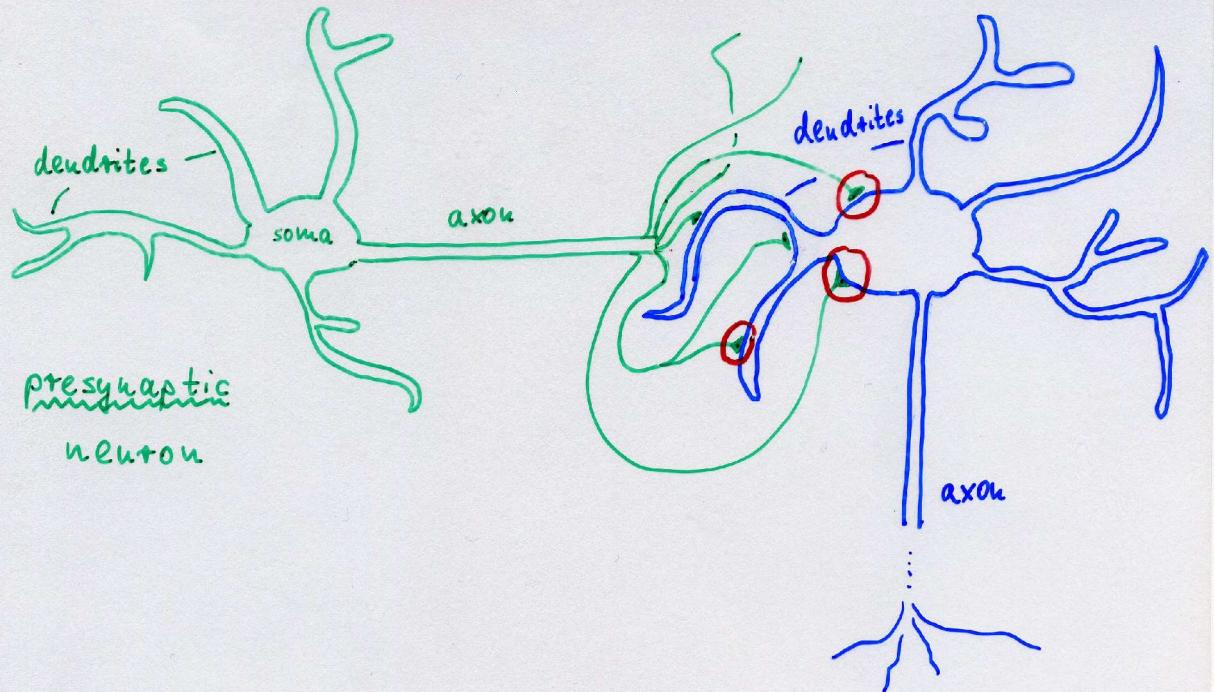
Wechselwirkungen d. Neurone

$J_{i,j}$: Einfluss von Neuron j auf Neuron i

$J_{i,j} > 0 \Rightarrow$ verstärkend (exzitatorisch)

$J_{i,j} < 0 \Rightarrow$ hemmend (inhibitatorisch)

Synaptic Transmission



propagation of an action potential along the axon of the presynaptic neuron



exocytosis of vesicles in the presynaptic terminal



release of neurotransmitter



diffusion to the postsynaptic receptors



change of conformation of the receptors



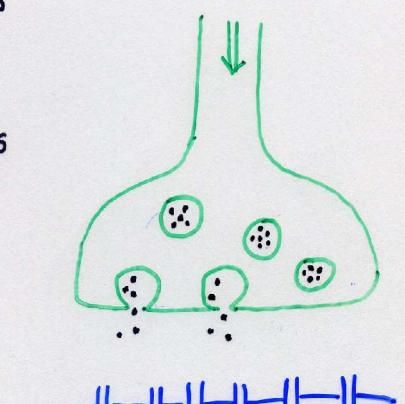
influx of ions



build up of potential difference



propagates to the soma



Alle einlaufenden Signale werden aufsummiert zum gesamten postsynaptischen Potential von N^z i

$$h_i = \sum_j J_{ij} s_j$$

Schwellwertdynamik

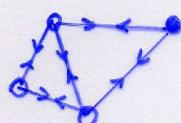
$$\begin{aligned} h_i(t) > \bar{h} &\Rightarrow s_i(t+1) = +1 \\ h_i(t) < \bar{h} &\Rightarrow s_i(t+1) = -1 \end{aligned}$$

kinetisches
Ising Modell

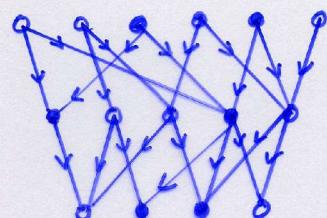
Architektur des Netzwerks: Welches Neuron ist mit welchen anderen verbunden?

zwei dominante Architekturen:

a) Attraktornetzwerke
(Assoziation)



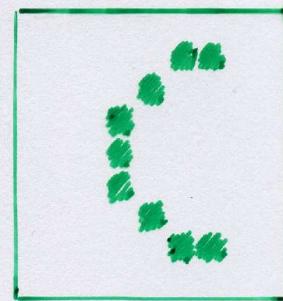
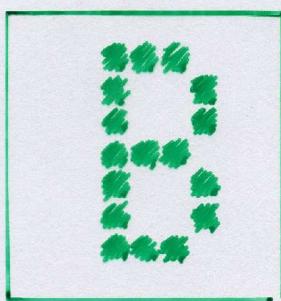
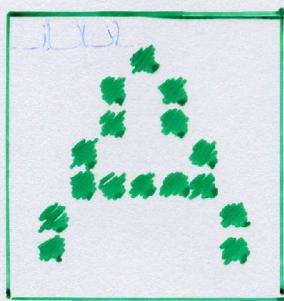
b) multilayer feed forward
(Verallgemeinern)



- Neurone sind dynamisch mit zeitlich konstanten J_{ij}
z.B. Assoziation
- Kopplungen sind dynamisch mit zeitlich konstanten Konf
z.B. Dynamik des Lernens

III. Assoziativer Speicher

- Die zu speichernde Information wird als Aktivitätszustand des gesamten Netzwerks repräsentiert



...

{A_i} : Muster 1

{B_i} : Muster 2

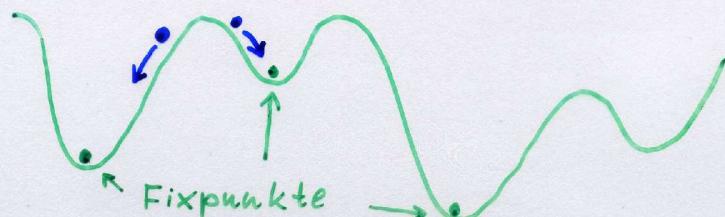
{C_i} : Muster 3

- Information ist in den Kopplungen J_{ij} gespeichert. J_{ij} sind Funktionen der Muster, d.h. die Muster Attraktoren der Dynamik sind

Attraktor : Fixpunkt der Dynamik
ähnliche Anfangszustände werden angezogen

- Assoziation = Zeitentwicklung eines Anfangszustands in einen Attraktor

Abtunen der gespeicherten Information nicht durch Angabe einer Adresse sondern z.B. durch Teilinformation





Hopfield Modell, Hebbische Synapsen

Speicherung von Konfiguration oder Muster z_A

$$\Delta J_{ij} = A_i A_j$$

zusätzlich z_B : $\Delta J_{ij} = B_i B_j$

zusätzlich z_c : $\Delta J_{ij} = C_i C_j$

:

$$J_{ij} = (A_i A_j + B_i B_j + C_i C_j + \dots)$$

$\underbrace{\quad}_{p}$ gespeicherte Muster

Fixpunkte der Dynamik (ver schwinder Schwellwert)

$$s_i(t+\Delta t) = s_i(t) = s_i^*$$

$$s_i^* \sum_j J_{ij} s_j^* > 0$$

für alle i

nur ein Muster $s_i^* = A_i$

$$A_i \sum_j A_i A_j A_j = N > 0$$

viele zufällige Muster

$$\frac{1}{N} \sum_i A_i J_{ij} A_j = 1 + \underbrace{\frac{1}{N} \sum_i A_i B_i B_j A_j}_{\text{Signal}} + \underbrace{\dots}_{\text{Rauschen}}$$

$$\text{Varianz des Rauschens} \sim \frac{P}{N}$$

Kapazität: Zahl der Muster, die gespeichert werden und abgerufen werden können

$$p = 2^N$$

jedes Muster enthält N bits

$N \cdot 2^N$ bits können gespeichert werden

= Zahl der synaptischen Kopplungen

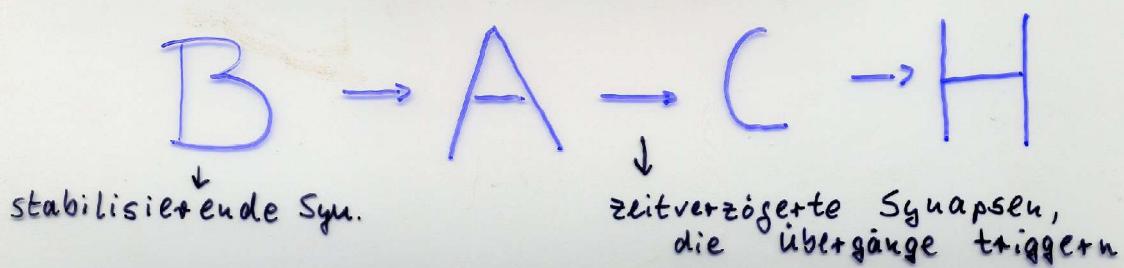
menschliches Gehirn: $\sim 10^{10}$ Neurone
 $\sim 10^4$ Synapsen pto Neuron
 $\Rightarrow \sim 10^{15}$ bits (für unkorrelierte Muster)

Von Neumann: Gesamtzahl von bits, die das Gehirn über das sensorische System während eines Menschenalters erreichen

$\sim 10^{20}$ bits \Leftarrow { mittlere Spike Rate ~ 14 / s
 $\sim 10^{10}$ sensorische Neurone
Menschenalter $\sim 10^9$ s

= Speichern und Abrufen von Sequenzen

Central Pattern Generators



IV Verallgemeinern, Lernen aus Beispielen

Fragen:

- Kann ein Netzwerk aus Beispielen lernen?
- Wieviele Beispiele braucht es, um eine Regel zu extrahieren?
- Was ist die Wahrscheinlichkeit einen Fehler zu machen?

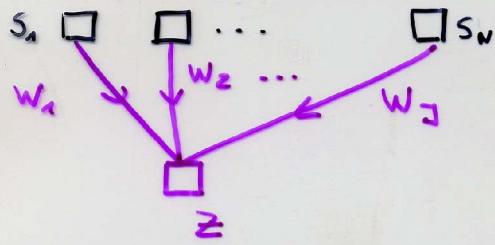
einfaches Beispiel

Lernen 1, 3, 5, 7, 11 → Kat A (output +1)
 2, 4, 6, 8, 10 → Kat B (output 0)

Frage: Wo ist 9 einzuknoten?

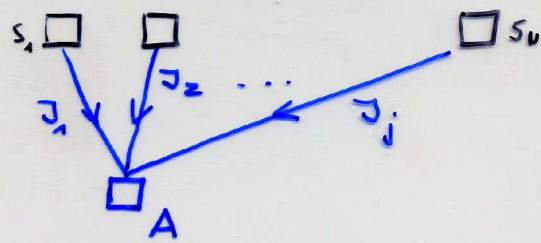
	Eingabe	Ausgabe
1	0001	1
2	0010	0
3	0011	1
4	0100	0
5	0101	1
6	0110	0
7	0111	1
8	1000	0
9	1010	0
11	1011	1

Lehrtperzepton



$$z = \begin{cases} +1 & , h_z = \sum_{j=1}^N w_j s_j > 0 \\ -1 & , h_z < 0 \end{cases}$$

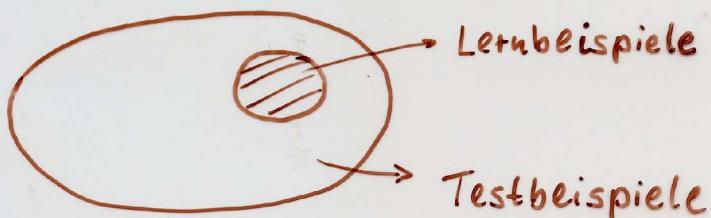
Schülerperzepton



$$A = \begin{cases} +1 & , h_A = \sum_{j=1}^N j_j s_j > 0 \\ -1 & , h_A < 0 \end{cases}$$

2^N mögliche Eingaben

für jede produziert der Lehrer eine Ausgabe



Lernbeispiele: Schüler bekommt Eingabe und Ausgabe um Kopplungen zu adaptieren

Testbeispiele: Schüler bekommt nur Eingabe produziert selbst Ausgabe A , $A = z ?$

statistische Mechanik: thermodyn. Limes ($N \rightarrow \infty$)
zufällige Eingaben

$\rho = \Theta(N)$ Beispiele teilen aus, damit Wahrsch.
für die richtige Antwort fast 1 ist.

HUMAN SILICON CHIP:
CAPABLE OF 6 COMPUTATIONS PER HOUR

