



h_da

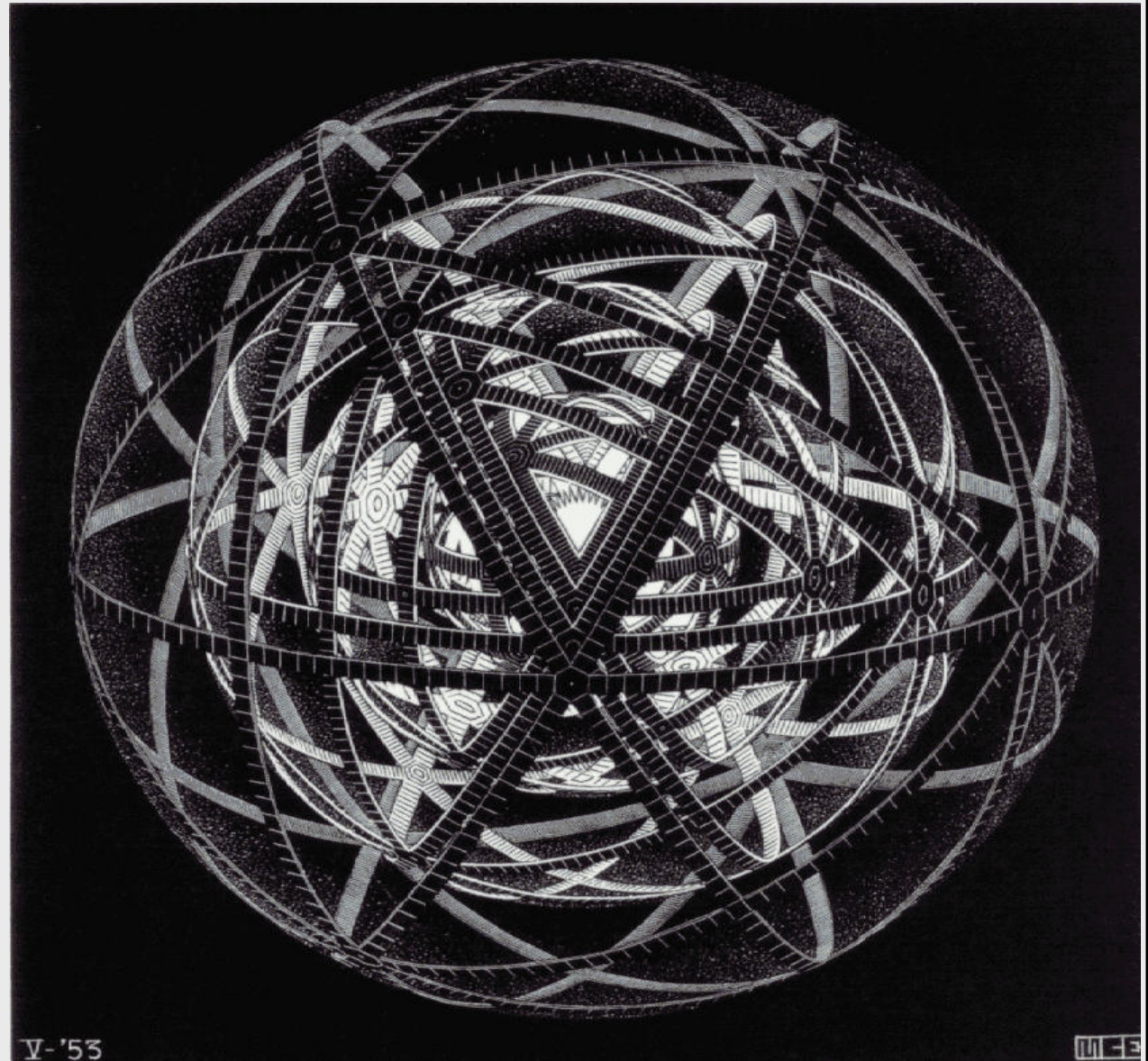
HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Computational Intelligence

Kapitel 3: Neuronale Netze
Teil A: Biologische Grundlagen
(Mini-Intro)

Dr. Norbert Waleschkowski

Fachbereich Informatik
Sommersemester 2011
Master-Studiengang



Kognitive Phänomene (1)



Junge alte Frau

DAS OHR TAE CAT

Konzeptgeleitete Perzeption

- ▲ Das Bild links heißt "junge alte Frau". Darauf kann man eine junge und eine alte Frau erkennen.
- ▲ Es ist nicht möglich, beide Frauen gleichzeitig zu sehen. Man sieht zu einem Zeitpunkt entweder die junge oder die alte Frau.
- ▲ Wie ist dies möglich?
- ▲ Oben ein anderes Beispiel: Ein- und dasselbe Zeichen wird ein-mal als "A", einmal als "H" angesehen, abhängig vom Kontext.

Kognitive Phänomene (2)



Was ist das?

Kognitive Phänomene (3)

Es handelt sich auf der Vorderseite um ein auf dem Kopf stehendes Bild aus schwarzen Flecken vor einem weißen Hintergrund.

Dreht man es um, so erkennt man nach einer Weile die Silhouette eines Hundes (Dalmatiner) in einer Parklandschaft. Unsichtbare Konturen „springen“ ins Auge; es entsteht sogar ein Eindruck räumlicher Tiefe. Wie entsteht aus einem solchen Intensitätsmuster ein „Bild“?

Menschen erkennen den Hund ohne Probleme. Heutzutage sind dagegen Rechner nicht in der Lage, den Hund zu erkennen. Sie können z.B. einen Fleck auf dem Fell des Hundes nicht von einem Schmutz-fleck unterscheiden.

Wie entstehen eigentlich derartige Sinneseindrücke?



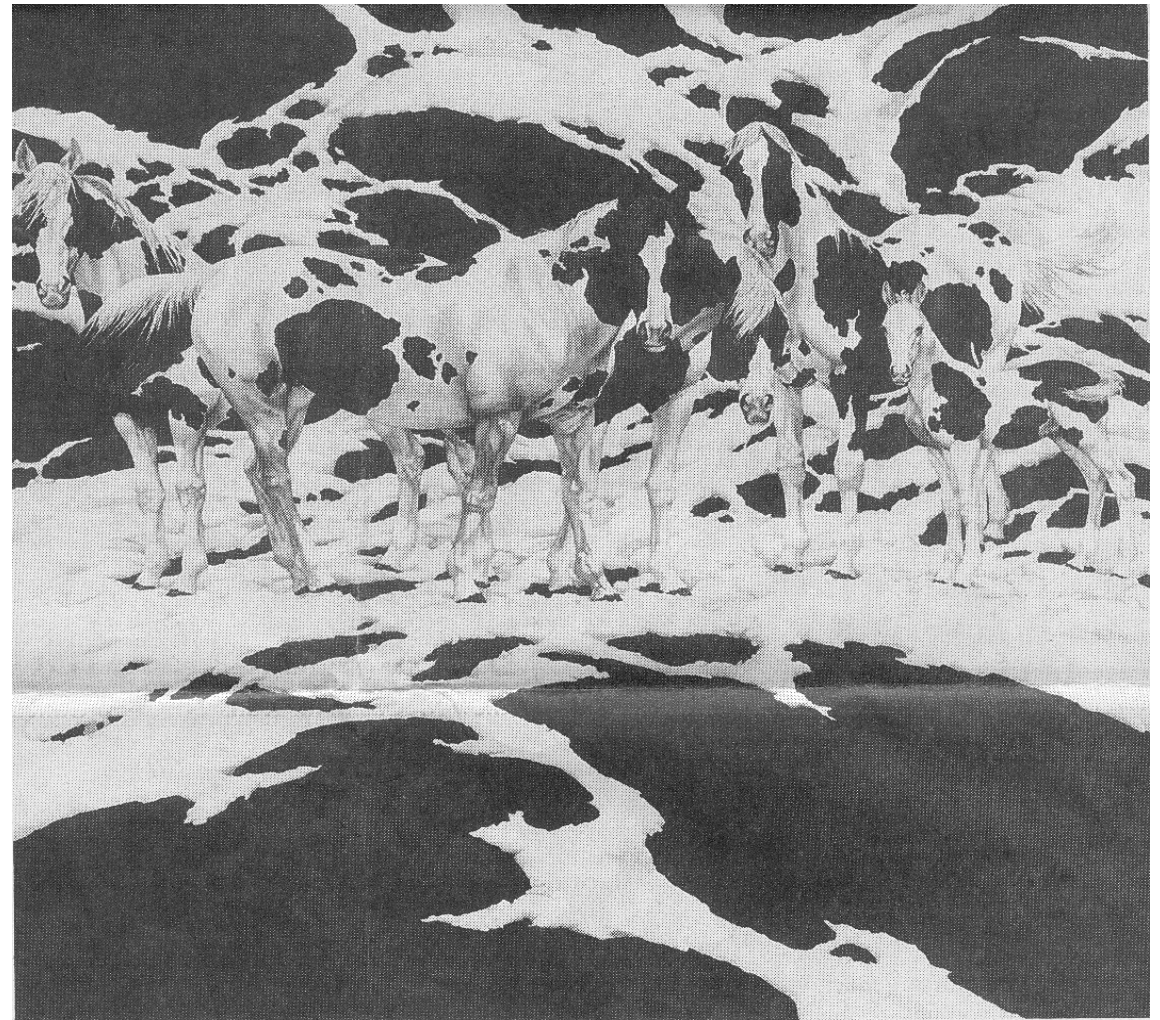
from: Wisemann, S.; Neisser, U.; Perceptual Organization as a Determinant of Visual Recognition Memory. In: American Journal of Psychology 87, 1974, pp. 675-681, Photography by Ronald James

Kognitive Phänomene (4)

Im Bereich der KI (Künstliche Intelligenz) entwickelte sich neben der symbolischen KI das Gebiet der Neuroinformatik.

Ziel der KI ist es, menschliche Fähigkeiten wie Sehen, Erkennen, Sprachverstehen usw. auf Rechnern nachzubilden.

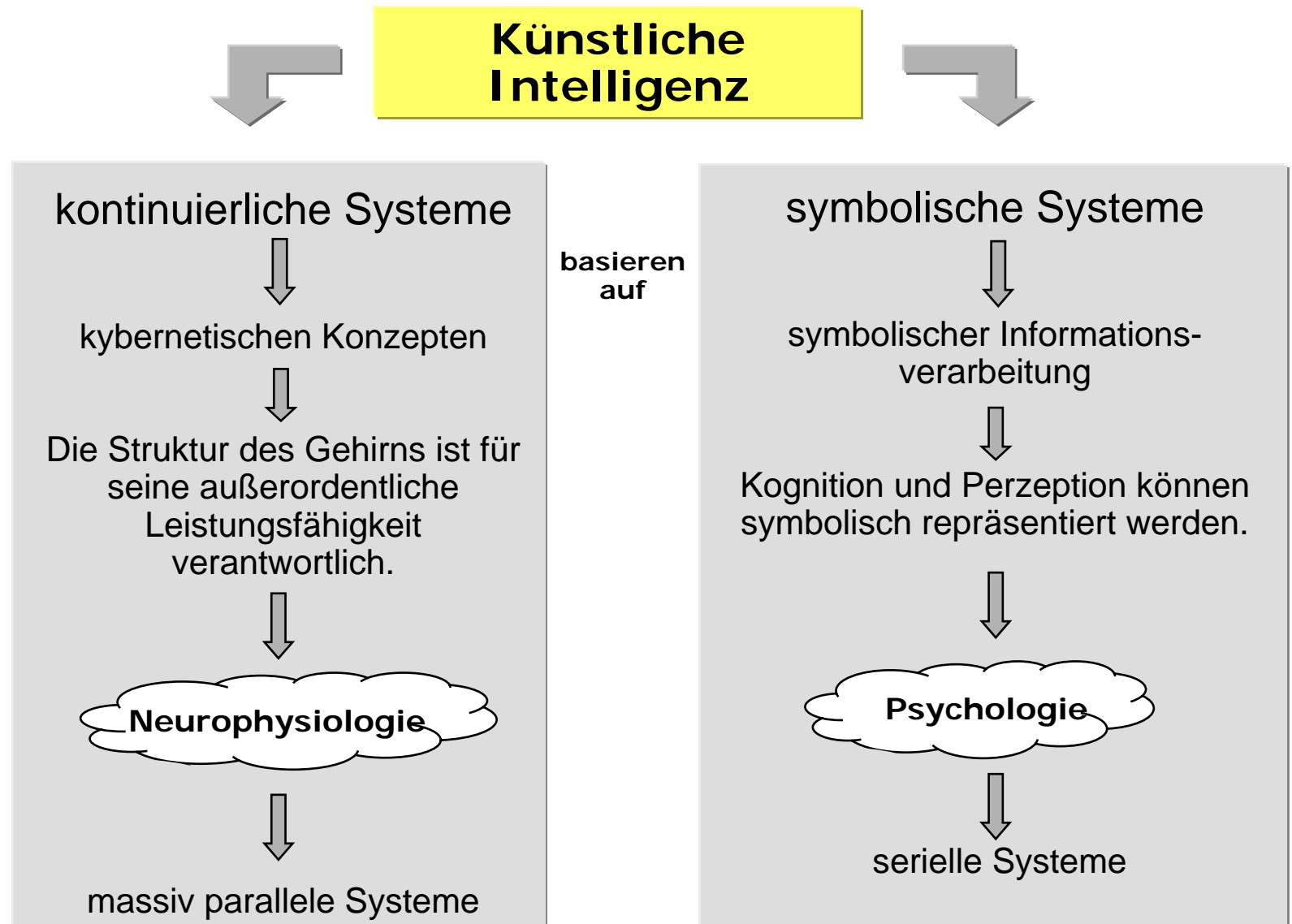
Die schwarzen und weißen Flecken auf diesem Bild von Bew Doolittle scheinen zu gefleckten Wildpferden in einer teilweise verschneiten Landschaft zu verschmelzen, eine verblüffende Fähigkeit unseres Gehirns.
(Singer, Wolf: Auf dem Weg nach innen, FAZ vom 27.2.98, Nr. 49, S. 41)



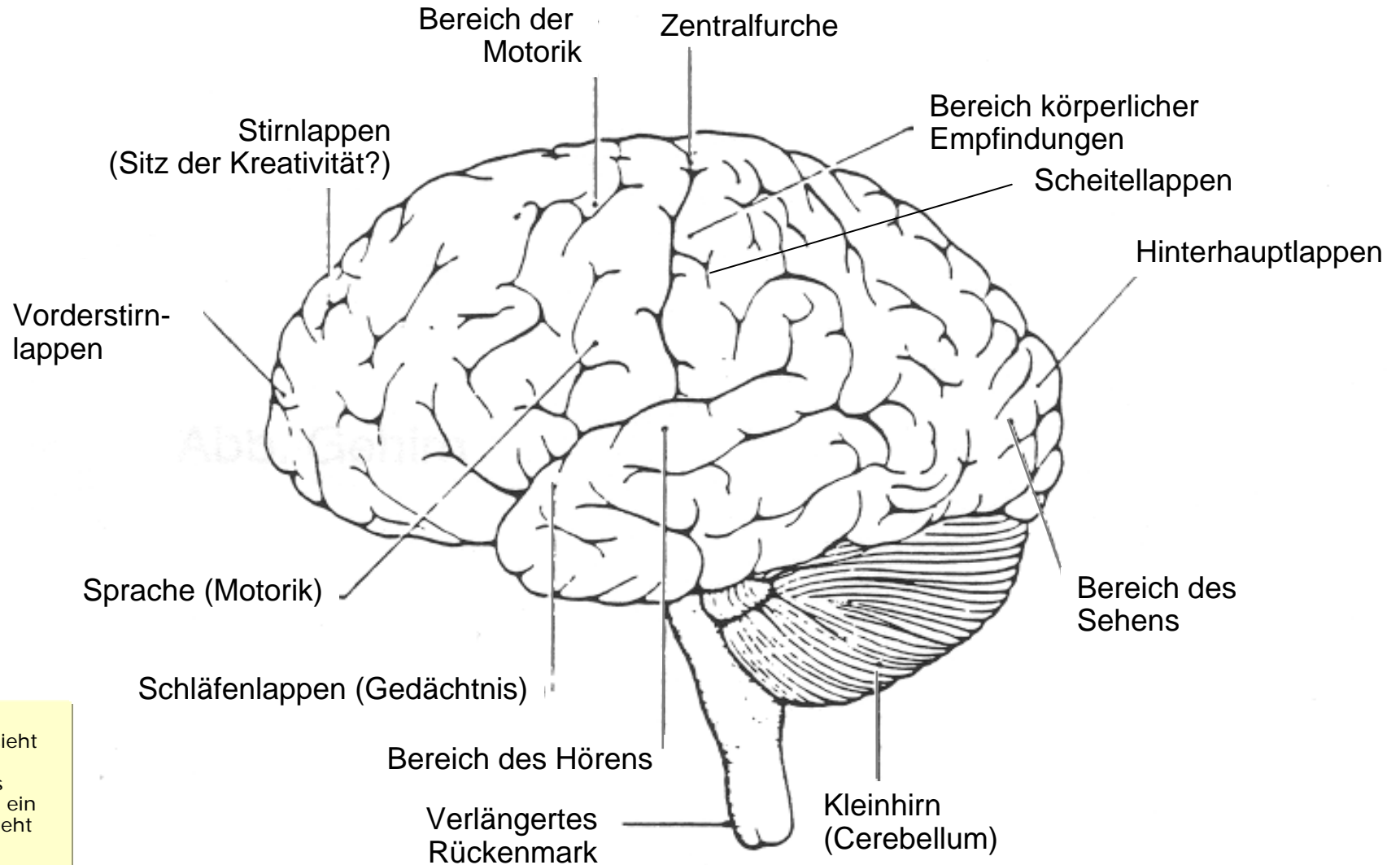
Zielsetzung der KI (1)

- ▲ Die symbolische KI versucht, Rechnern kognitive Fähigkeiten zu verleihen, indem alle Elemente des Wahrnehmens und Denkens repräsentationistisch, d.h. in symbolischer Form, etwa als attributierte Objekten mit Beziehungen untereinander oder in Form von Regeln dargestellt werden.
- ▲ Die Neuroinformatik geht dagegen davon aus, dass die Struktur biologischer Gehirne verantwortlich für deren außerordentliche Leistungsfähigkeit ist und versucht deshalb, Nervenzellen (Neuronen) und ihre Vernetzung in künstlichen neuronalen Netzen (KNN) nachzubilden.
- ▲ Das Gehirn ist ein komplexes Geflecht aus Neuronen, die untereinander vernetzt sind und Signale austauschen.
- ▲ Der Sitz der intelligenten Leistungen ist die Hirnrinde (Neokortex).

Zielsetzung der KI (2)



Neurobiologische Grundkonzepte (1)



Ein Gehirn hat eine gewellte Oberfläche und sieht aus wie ein weiches, zusammengeschobenes Papiertaschentuch. Wie ein solches Papiertuch besteht es aus mehreren übereinanderliegenden Schichten.

Das menschliche Gehirn, von links gesehen

Neurobiologische Grundkonzepte (2)

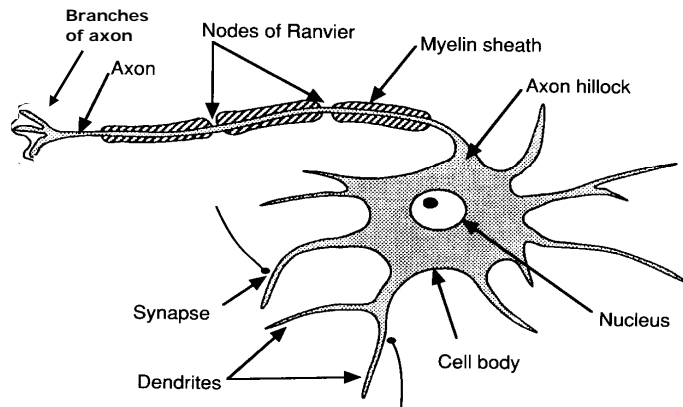
Einige Angaben zur Hirnrinde:

- ▲ ca. 0,2 m² groß
- ▲ ca. 2 – 3 mm dick
- ▲ pro mm² ca 100.000 Neuronen
- ▲ ca. 10¹¹ Neuronen
- ▲ ca. 10¹⁵ Vernetzungen
- ▲ unterteilt in verschiedene Regionen mit Spezialisierung auf bestimmte Teilaufgaben (Sehen, Hören, Sprechen, ...)

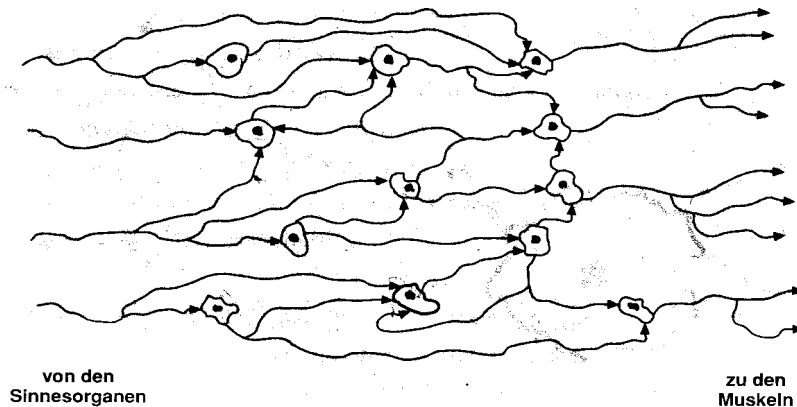
An einem Neuron lassen sich - stark vereinfacht - vier Hauptstrukturen unterscheiden:

- ▲ der Dendritenbaum (Der Dendritenbaum ist eine verästelte Struktur von Zellfortsätzen, über welche ein Neuron seine Information erhält. Ein Neuron kann bis zu 200.000 Dendriten haben.)
- ▲ das Soma bzw. der Nukleus (Im Soma, dem Zellkörper, findet die Verarbeitung der Eingangsinformation statt.)
- ▲ das Axon (Das Axon - es gibt genau eines - besitzt eine Ausgabe-funktion.)
- ▲ die Synapsen (Die Synapsen sind die Kontaktstellen der Axone anderer Neuronen auf dem Dendritenbaum oder auf dem Zellkörper.)

Neurobiologische Grundkonzepte (3)

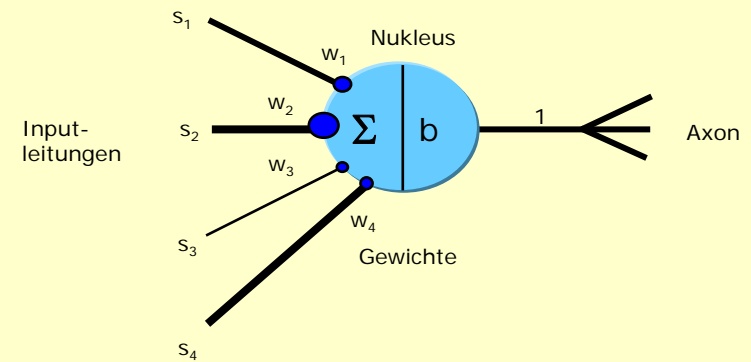


Schema eines biolog. Neurons



Neuronennetz

Schema eines künstlichen Neurons

Beispiel:

$s_1 = 1,0$	und	$w_1 = 1$	$\rightarrow a = 1$
$s_2 = 1,5$	und	$w_2 = 2$	$\rightarrow a = 3$
$s_3 = 0,5$	und	$w_3 = 0,5$	$\rightarrow a = 0,25$
$s_4 = 10$	und	$w_4 = 0,01$	$\rightarrow a = 0,1$

Total input = 13

Gewichteter Input = 4,35

Schwellenwert = 3 \rightarrow Das Neuron feuert.Schwellenwert = 5 \rightarrow Das Neuron feuert nicht.

Neurobiologische Grundkonzepte (4)

Arbeitsweise eines Neurons (stark vereinfacht):

- ▲ Input /Output der einzelnen Neuronen sind elektrochemische Ströme.
- ▲ Ein Neuron integriert alle über die Synapsen eingehenden Pulse und „feuert“ bei Überschreiten eines gewissen Schwellenwertes.
- ▲ Im Zellkörper fallen die „Entscheidungen“.
- ▲ Die Synapsen sind für das Lernen und die Erinnerung verantwortlich.
- ▲ Die Wirksamkeit der Synapsen ist unterschiedlich und auf verschiedenen Zeitskalen variabel.
- ▲ Ein Neuron sendet über sein Axon Impulse aus, die über die Synapsen anderer Neuronen weitergegeben werden.
(Ein Neuron ist mit ca. 10.000 anderen Neuronen verbunden)
- ▲ Die Signale auf dem Axon sind kurze Pulse von ca. 1ms Dauer.
Axone besitzen unterschiedliche Widerstände und Längen und können sich (bis zu 100.000mal) verzweigen.

Fazit: Denken ist auf unterster Ebene einfache Addition.

Cogito, ergo sum. (Descartes) bzw.
Ich denke, also summiere ich. (Hofstadter)

Neurobiologische Grundkonzepte (5)

- ▲ Information ist im Gehirn verteilt abgelegt. Alle Daten sind über-all in den Synapsen „ein wenig“ gespeichert.
- ▲ Der Speicher ist also über das gesamte Netz verteilt. Dies führt zu einer sehr hohen Fehlertoleranz.
- ▲ Die relativ geringe Schaltgeschwindigkeit der einzelnen Neuro-nen (max. ca. 1.000mal pro Sekunde) wird durch die massiv parallele Verarbeitung und durch die verteilte Information weit mehr als kompensiert.
- ▲ In der menschlichen Erbinformation ist nicht die detaillierte Verschaltung des Gehirns abgelegt.
- ▲ Zwar ist die Grundverschaltung, in der bereits erhebliches Wissen über die Welt repräsentiert ist, genetisch festgelegt, doch werden zunächst Verbindungen im Überschuß angelegt, da die ansonsten erforderliche Kodierung die Kapazität der Erbträger-substanz weit übersteigen würde.
- ▲ Während der postnatalen Entwicklung erfolgt dann eine Aus-wahl der „bestgeeigneten“ Verbindungen; unpassende Verbin-dungen werden zerstört.

Neurobiologische Grundkonzepte (6)

- ▲ Die Kriterien für diesen Selektionsvorgang gewinnt das heranwachsende Gehirn aus der Interaktion mit der Umwelt.

Beispiel 1:

Wenn die Augen während der ersten Lebensjahre wegen einer Hornhauttrübung nicht genutzt werden können, werden die für den Sehvorgang erforderlichen Verbindungen nicht optimiert. Die Patienten bleiben blind, selbst wenn im Auge durch Hornhaut-Transplantationen normale optische Bedingungen hergestellt werden.

- ▲ Das Gehirn hat gleichsam versäumt, die entsprechenden Strukturen auszubilden.

Beispiel 2:

Bekannt ist das Unvermögen des Japaners, den Unterschied zwischen R und L zu hören. Diese Laute kommen in seinem Sprachraum nicht vor; folglich hat das Gehirn die entsprechenden Strukturen nicht optimiert.

- ▲ Japanische Kinder, die in anderen Sprachräumen leben, lernen diese Unterschiede dagegen mühelos.

Historische Entwicklung der Neuroinformatik (1)

- 1890 James: entwickelt ein erstes Modell zur Erklärung der Assoziationsfähigkeit und beschreibt grundlegende Prinzipien neuronalen Lernens.
- 1900 Pawlow: untersucht die Konditionierung von Reflexen an Hunden
- 1943 McCulloch & Pitts: Jede logische Funktion kann durch ein Netzwerk aus einfachen Schwellwertelementen realisiert werden.
- ~ J. v. Neumann, N. Wiener: Entwicklung der Kybernetik als fachliche Disziplin.
- 1949 D. Hebb: präsentiert die erste Lernformel
- 1950 C. Lashley: zeigt an Rattenexperimenten, dass Information in Gehirnen verteilt abgelegt wird.
- 1956 1. KI-Konferenz in Dartmouth (Geburtsstunde der KI als Informatik-Disziplin)
- 1958 F. Rosenblatt: entwickelt das Perzeptron
- 1960 Widrow & Hoff: entwickeln das ADALINE (adaptive linear network)
- ~ intensive Forschungstätigkeit in der Neuroinformatik

Historische Entwicklung der Neuroinformatik (2)

- 1969 Minsky & Papert: weisen grundsätzliche Beschränkungen der Leistungsfähigkeit von Perzeptronen nach.
- ~ Daraufhin folgt eine längere Phase der Stagnation in der NN-Forschung.
 - ~ Wiederbelebung der NN-Forschung durch Wissenschaftler wie Anderson, Cooper, Grossberg, Kohonen u.a.
- 1972 Anderson: Linearer Assoziator, Brain-state-in-a-box
- ~ Kohonen: Modells für assoziative Speicher
 - ~ Grossberg: Adaptive Resonance Theory (ART)
- 1982 Hopfield: entwickelt ein Netzwerk mit starken Bezügen zur Physik (Statistische Mechanik)
- ~ "return to respectability"
 - ~ Kohonen: Selbstorganisation
 - ~ Fukushima: Cognitron & Neo-Cognitron
- 1985 Hinton, Sejnowski: Boltzmann-Maschine
- 1986 Rumelhart, Hinton, Williams: Der Backpropagation Lernalgorithmus für mehrschichtige Perzeptronen
- ~ rasche und breite Weiterentwicklung in der NN-Forschung und Nachbardisziplinen (Maschinelles Lernen, ...)
 - ~ bedeutet "in dieser Zeitspanne"