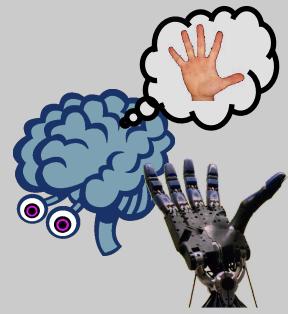
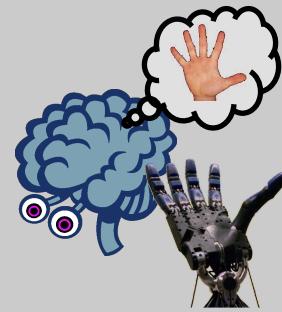


Teil I

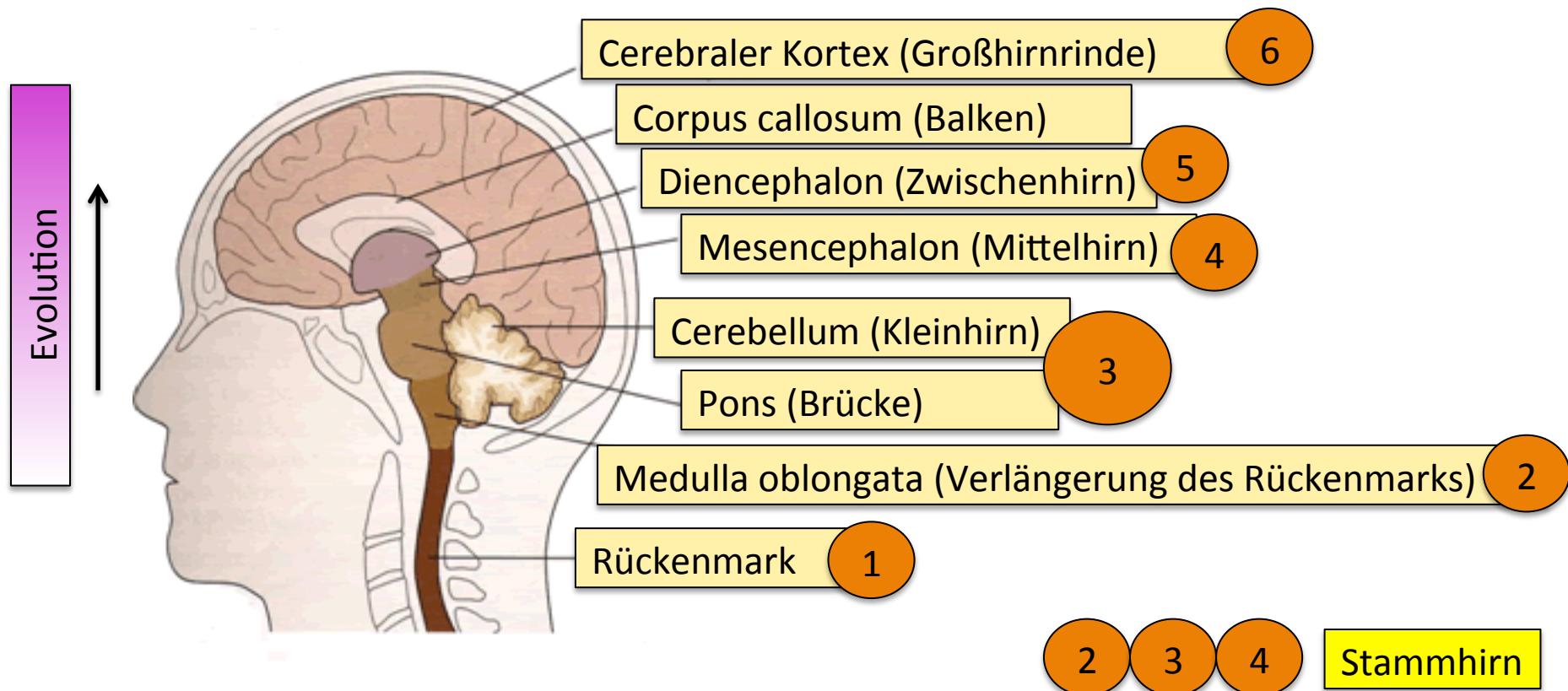


Physiologie Informationsverarbeitung im (menschlichen) Gehirn

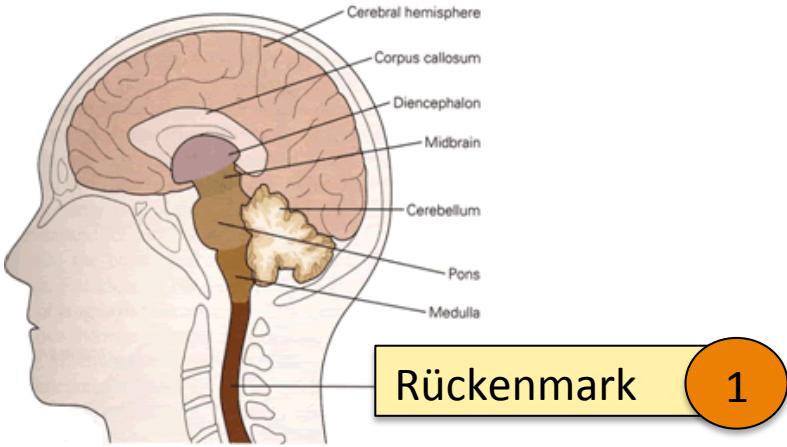
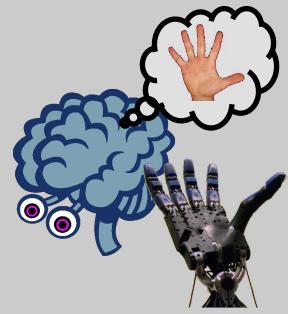
Das zentrale Nervensystem (ZNS)



6 elementare Teile (bilateral und symmetrisch angeordnet):

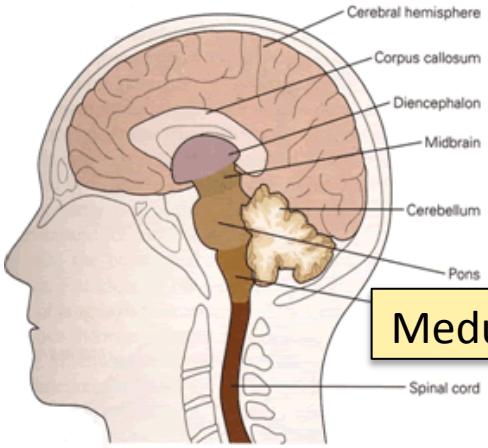
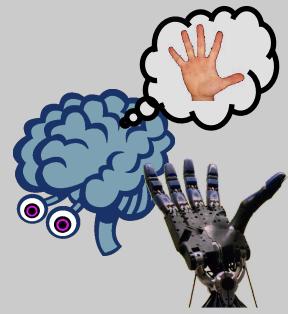


Rückenmark



- Kontrolliert Bewegungen der Gliedmaßen und des Rumpfes, indem es die Signale des Gehirns an die Muskeln weiterleitet **(Output)**
- Empfängt und verarbeitet sensorische Informationen von der Haut, den Gelenken und den Muskeln **(Input)**
- Reflexe
- Kontrolle der Kopfmuskeln und Verarbeitung sensorischer Informationen der Kopfhaut findet im Stammhirn statt.

Medulla oblongata

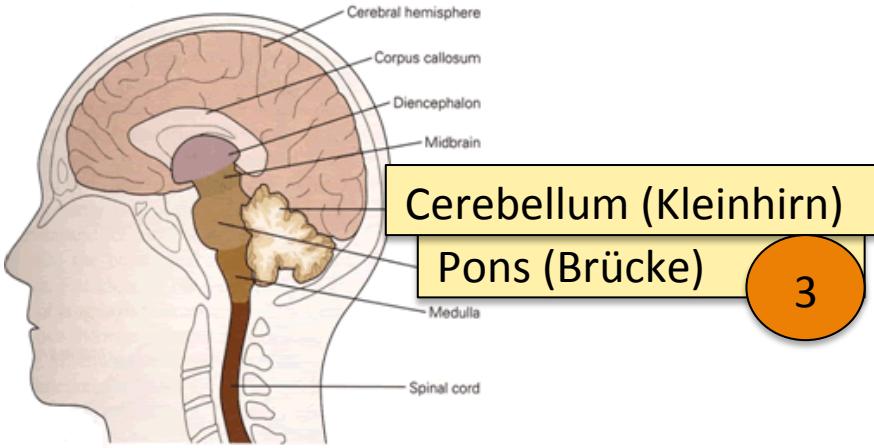
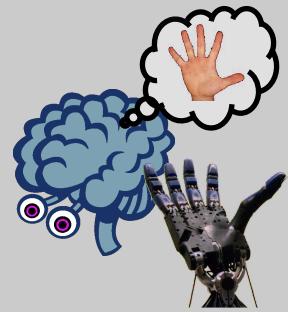


Medulla oblongata (Verlängerung des Rückenmarks)

2

- Kontrolle der automatisierten Vitalfunktionen, wie Verdauung, Atmung oder Herzfrequenz.

Pons und Cerebellum



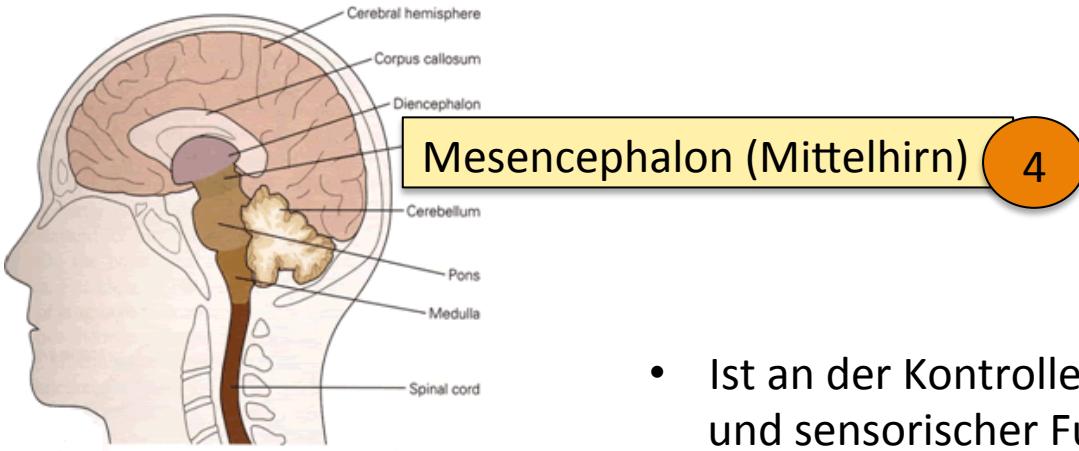
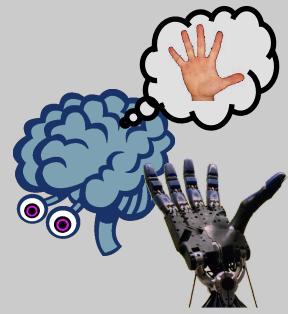
Pons

- Leitet Informationen über Bewegungen an das Kleinhirn weiter

Kleinhirn

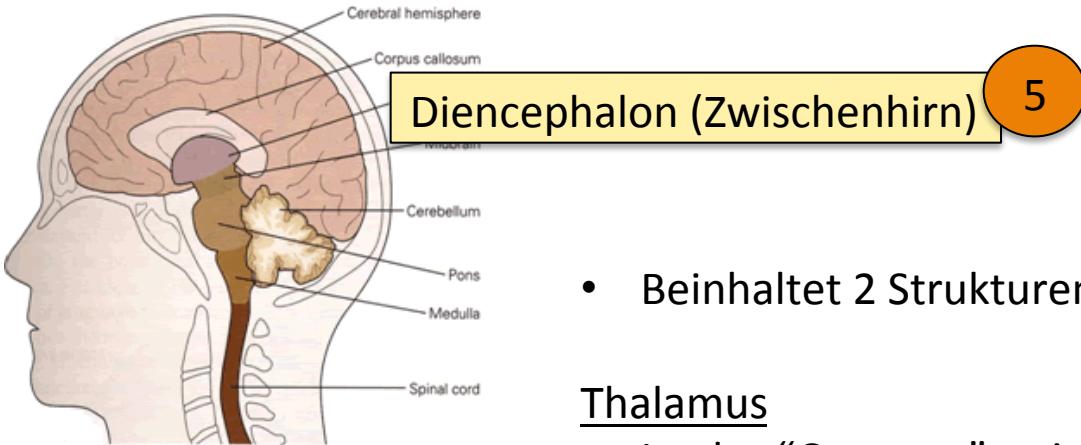
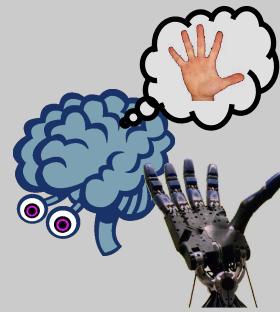
- Feinjustierung von Bewegungen, d.h. von Kraft, Auslenkung, Balance
- Wichtige Rolle beim Erlernen neuer Bewegungen

Mesencephalon



- Ist an der Kontrolle verschiedener motorischer und sensorischer Funktionen beteiligt.
- Augenbewegungen
- Visuelle und auditorische Reflexe

Diencephalon



- Beinhaltet 2 Strukturen

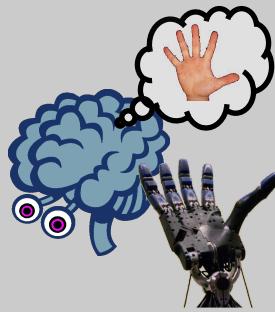
Thalamus

- Ist der “Gateway” zwischen dem Kortex und dem Rest des ZNS (*wichtig! später mehr*)

Hypothalamus

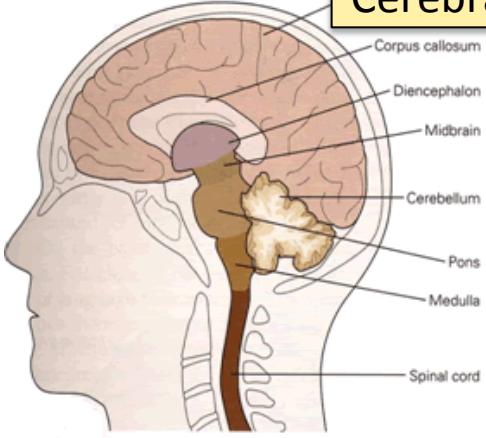
- Reguliert u.a. die Drüsen- und Darmfunktionen (automatisiert)

Cerebraler Kortex

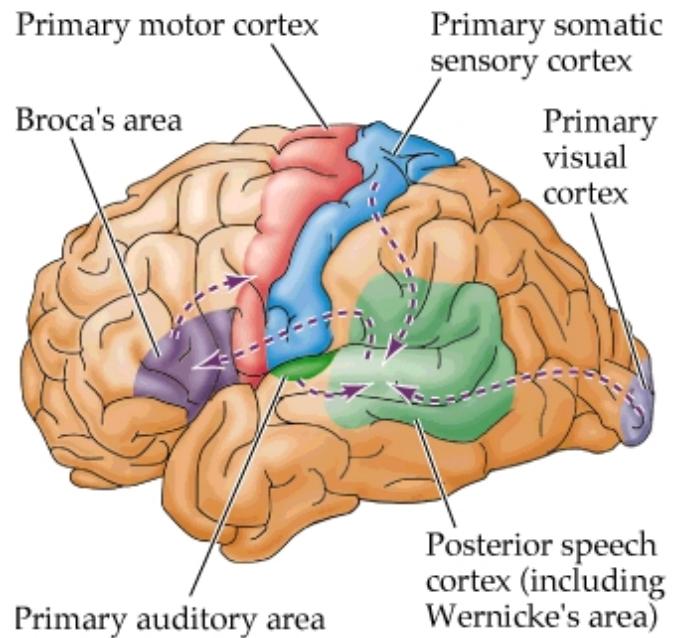


Cerebraler Kortex (Großhirnrinde)

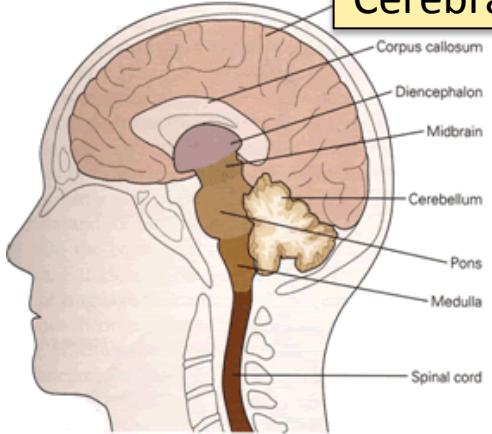
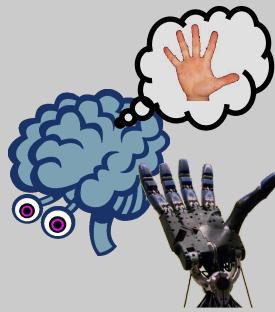
6



- Besteht aus 2 Hemisphären, die mittels des Corpus Callosum verbunden sind.
- Alle kognitiv höheren Funktionen sind im Kortex lokalisiert, z.B. Sprache, Motorik
- Kortikale Plastizität ermöglicht
“Neuverdrahtung” → Voraussetzung für Lernen

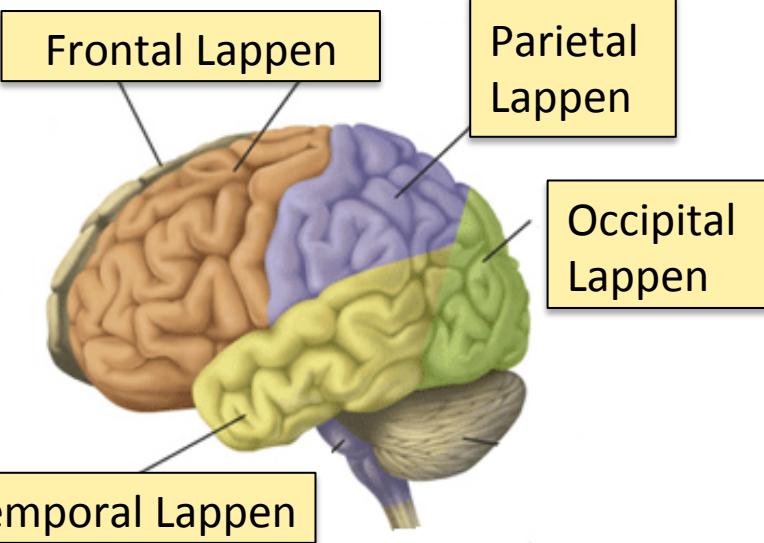


Cerebraler Kortex



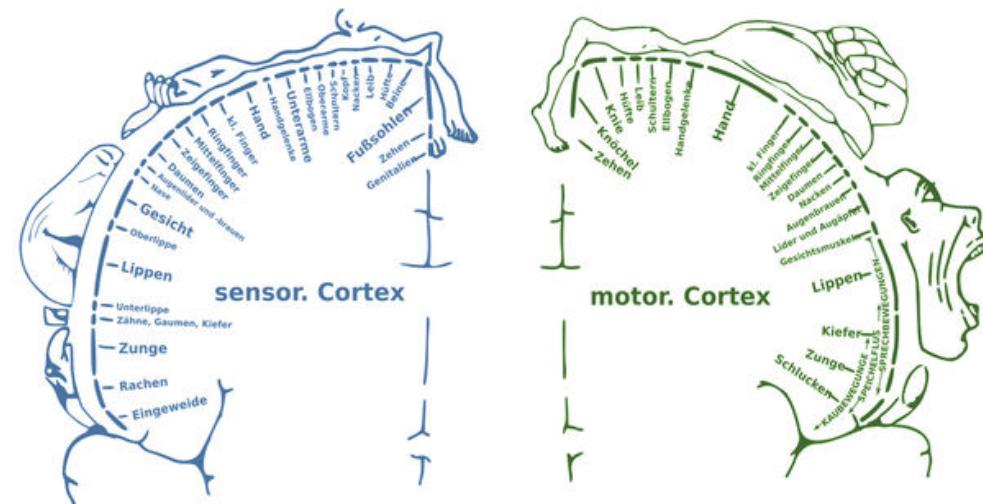
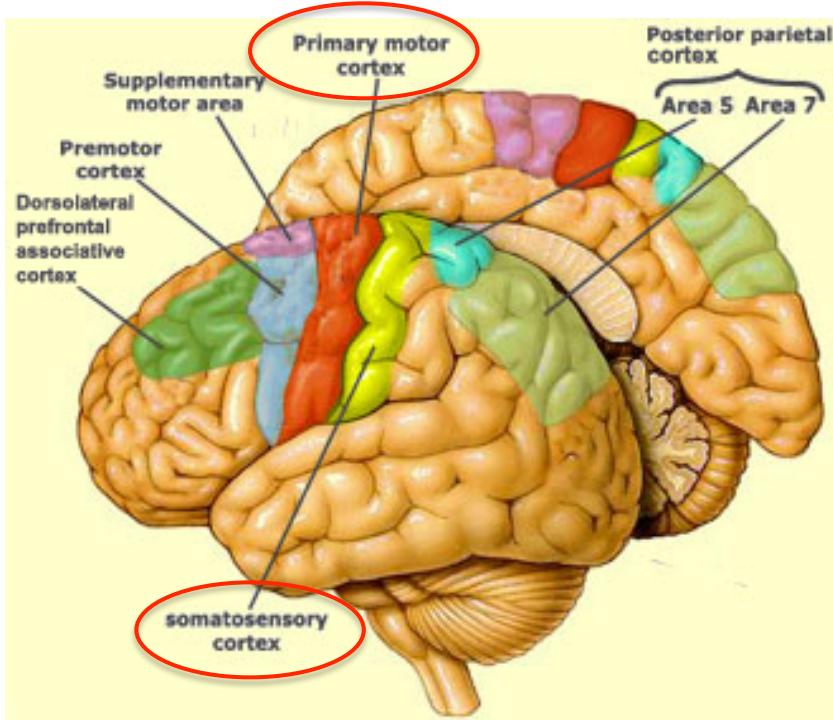
Cerebraler Kortex (Großhirnrinde)

6



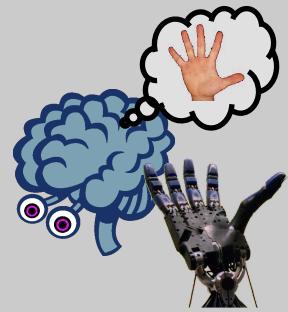
- Verschiedene Hirnlappen (Lobus cerebri) symmetrisch in den Hemisphären

Senso-motorischer Kortex



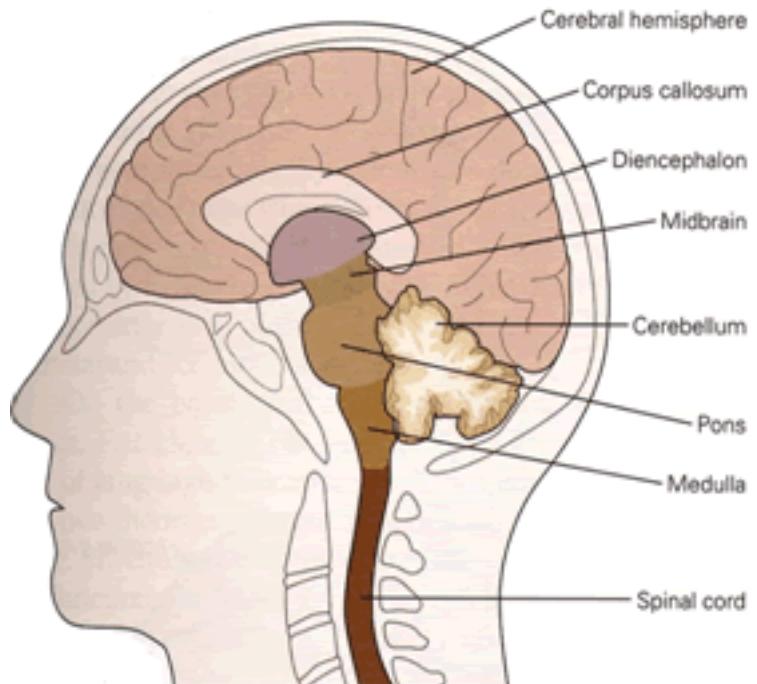
- **Homunculus** (Penfield, 1951) "Menschlein"
- Benachbarte Körperregionen in benachbarten Regionen repräsentiert
-> **somatotopic** Organisation
- Gliedmaße sind **contra-lateral** repräsentiert

Zusammenfassung



bewusst

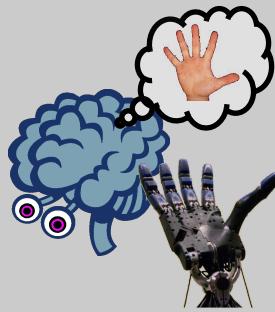
automatisiert



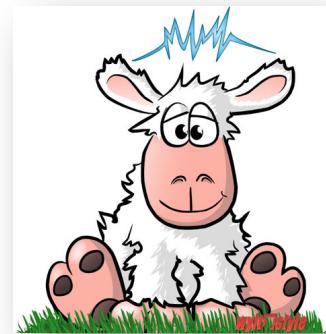
Höhere kognitive
Funktionen

Elementare
Vitalfunktionen

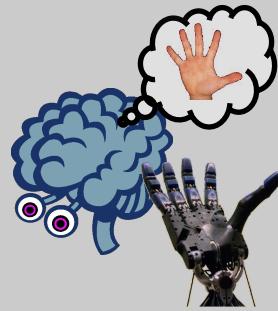
Informationsverarbeitung



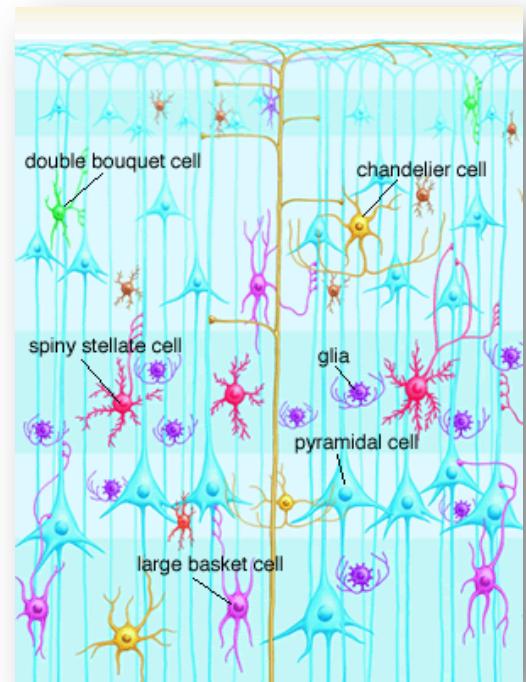
- Die Informationsverarbeitung im Gehirn ist eine Kombination aus **elektro-magnetischen und biochemischen** Prozessen.
- Die kleinste, Informationsverarbeitende Einheit bilden die Neuronen, oder Nervenzellen.
- Das menschliche Gehirn besteht aus ca. 10^{11} Neuronen.
- Es gibt ca. 10.000 unterschiedliche Typen von Neuronen, aber alle mit ähnlichen Merkmalen.



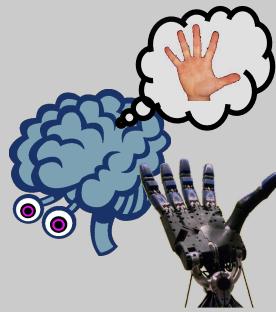
Informationsverarbeitung



- Neben den Neuronen gibt es noch einen 2. Zelltyp im Gehirn, die Glia-Zellen (10% Neuronen, 90% Glia-Zellen).
- Glia-Zellen galten lange als “funktionslose Stützmasse” des Gehirns.
- In den letzten Jahren wird diese Sichtweise zunehmend revidiert, jedoch ist ihr Beitrag zur Informationsverarbeitung bisher wenig erforscht.



Informationsverarbeitung

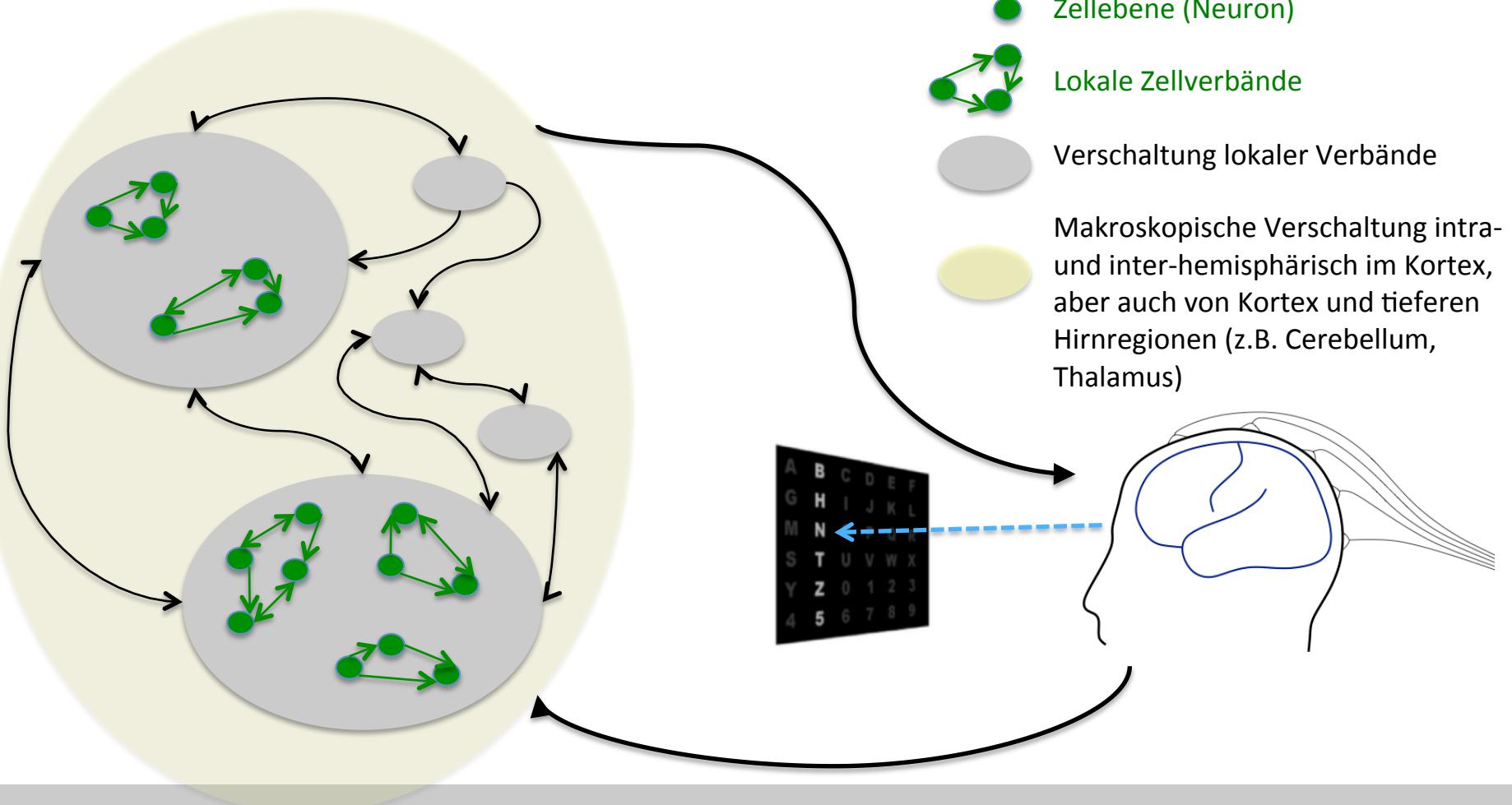
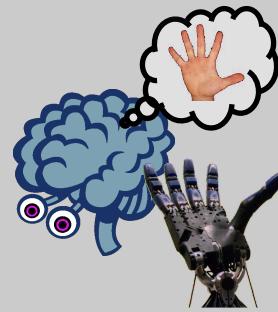


- Die Neuronen bilden ein komplexes, massiv verbundenes Netzwerk, das über elektro-chemische Signale kommuniziert.
- Die Verschaltung, also die Art und Weise der Organisation dieser elementaren Einheiten bildet die Grundlage für komplexes Verhalten.

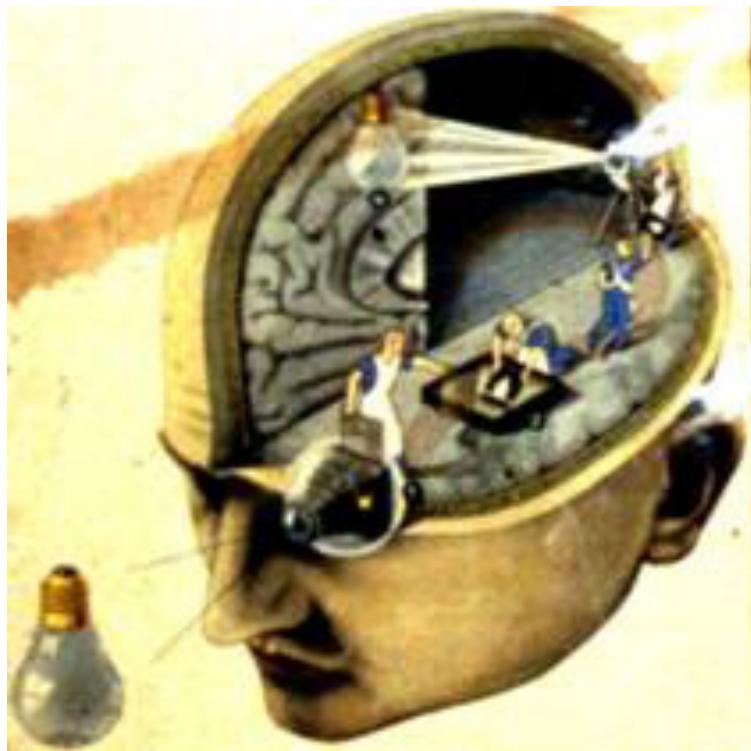
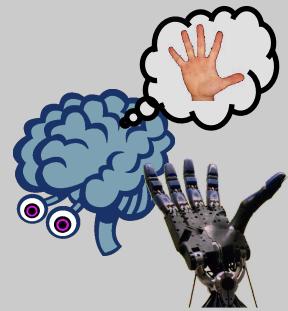
Um diese Organisation zu verstehen, sollte man diesen Eigenschaften betrachten → Betrachtungsebenen

1. Die Mechanismen durch die Neuronen ihre relativ stereotypischen Signale produzieren.
2. Die Art und Weise, wie Neuronen zu Netzwerken verschaltet sind.
3. Das Verhältnis von neuronalen Verschaltungen zu unterschiedlichen Verhaltensweisen.
4. Die Modifikation von Neuronen und neuronaler Verschaltung durch Erfahrung
→ Lernen

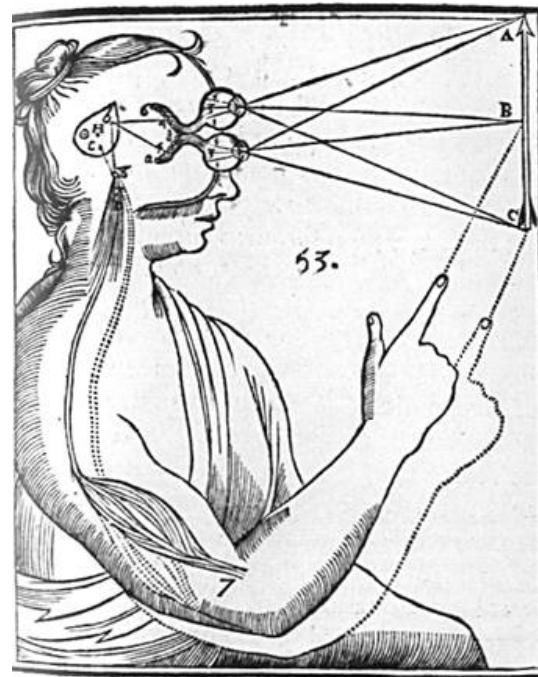
Betrachtungsebenen



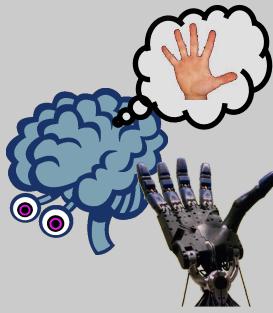
Historisch



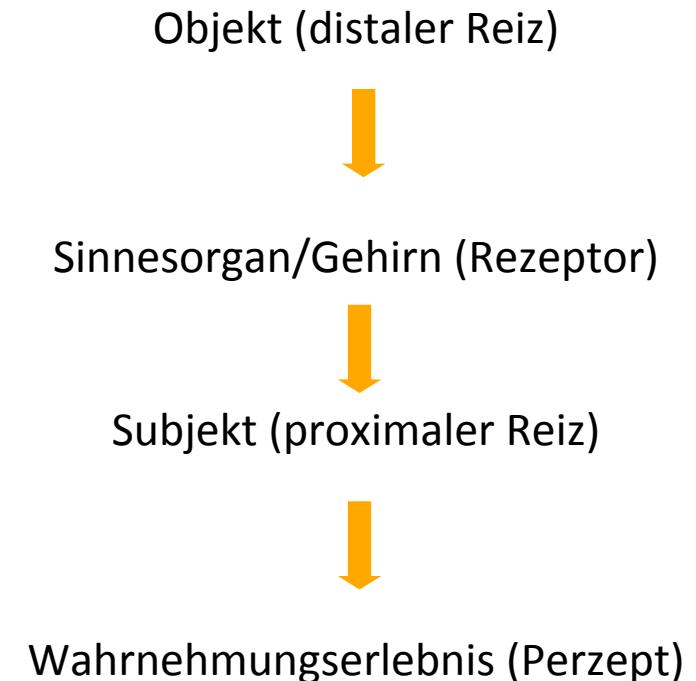
Wahrnehmung als mechani(sti)scher Prozess?



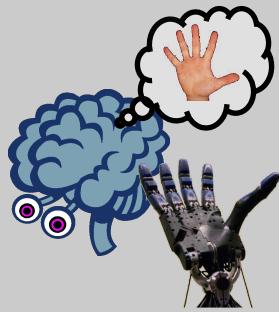
Verbindung von „Außenwelt“ und „Innenwelt“



- Ansatz der klassischen Wahrnehmungspsychologie.
- Verbindung zwischen „Objekt“ (einem Reiz in der Welt, auch distaler Reiz genannt) und dem „Subjekt“ (proximaler Reiz).
- Diese Sichtweise betrachtet das Gehirn als „Blackbox“.
- Wahrnehmung kann man sich als einen Prozess vorstellen, in dessen Verlauf der distale Reiz aus Informationen des proximalen Reizes erschlossen wird.

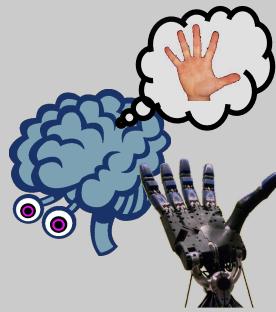


Definition Wahrnehmung



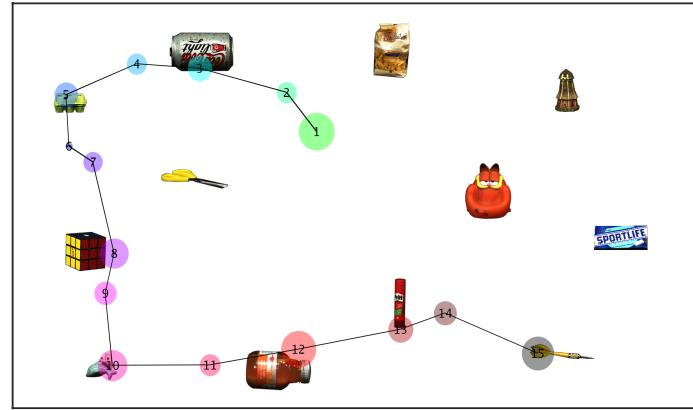
- Bewussten Aufnahme von Informationen eines Lebewesens über seine Sinne
- Summe der Schritte Aufnahme, Auswahl, Verarbeitung und Interpretation von sensorischen Informationen
- Aber: Nur jene Informationen werden berücksichtigt, die der Anpassung des Wahrnehmenden an die Umwelt dienen
- Nicht alle Sinnesreize sind Wahrnehmungen
- Wahrnehmungen werden **kognitiv** verarbeitet, dienen der „Orientierung“
- Aufgenommene und ausgewertete Informationen sind Perzepte
- Aufmerksamkeit kann Sinneswahrnehmung bewusst steigern
- Wahrnehmung ermöglicht sinnvolles Handeln, Aufbau **mentaler Modelle**, planerisches Denken

Definition kognitiv



- Für intelligentes Handeln notwendige Informationsverarbeitungsprozesse
- Beispiele kognitive Leistungen:
Erkennungs- oder Abstraktionsleistungen, Interpretationsvermögen
- Beispiele kognitive Prozesse:
Such- oder Entscheidungsaufgaben

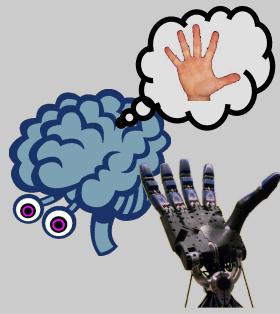
“Finde den Pfeil!”



“Rette einen der roten Charaktere!”



Mentales Modell



„Ein mentales Modell ist das Abbild der Wirklichkeit in der menschlichen Wahrnehmung. Gedächtnis, Wirklichkeitswahrnehmung, Problemlösung und alle anderen Denkleistungen beruhen auf der Anwendung dieser Abbilder (sog. kognitiver Artefakte).“

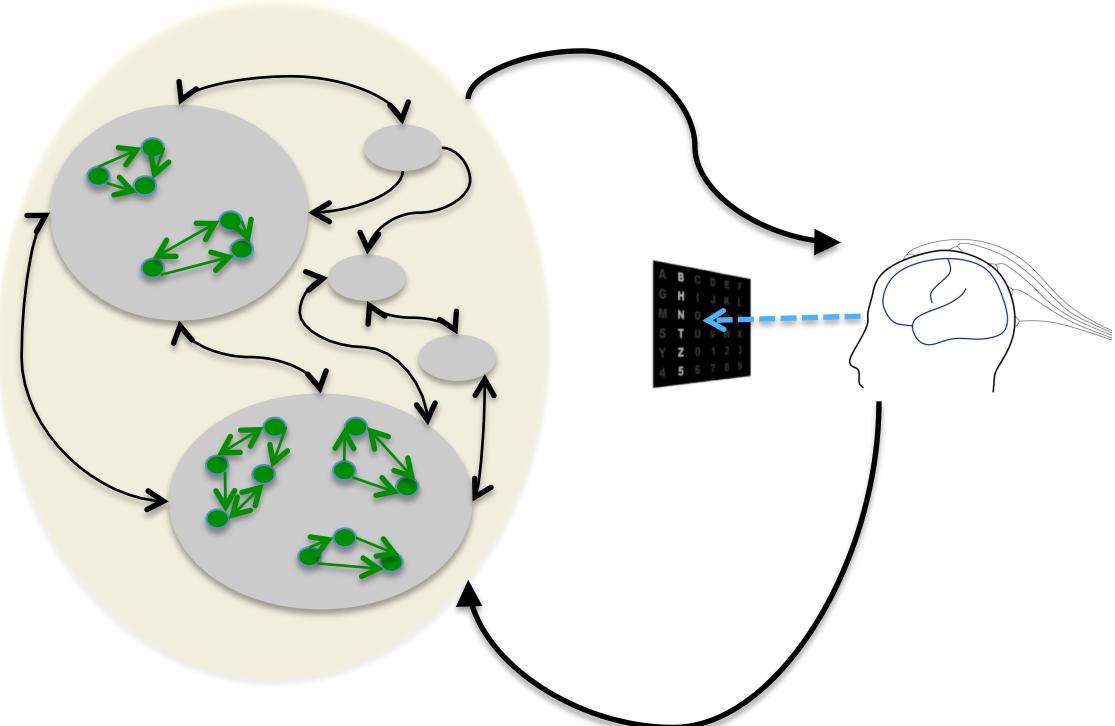
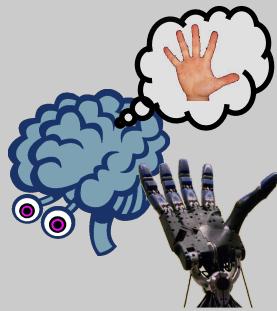
Vermutlich beruht auch das Textverständnis auf dem Entstehen mentaler Modelle der beschriebenen Situation und nicht auf einem semantischen Abbild (d.h. Speicherung und Verarbeitung der Wörter).“

(Johnson-Laird, 1983)

Literaturtip: T.W. Deacon: *The symbolic species: The co-evolution of language and the brain**

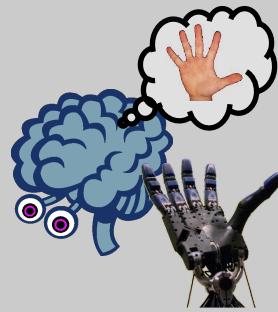
*gibt's in der UniBib

Betrachtungsebenen (reloaded)

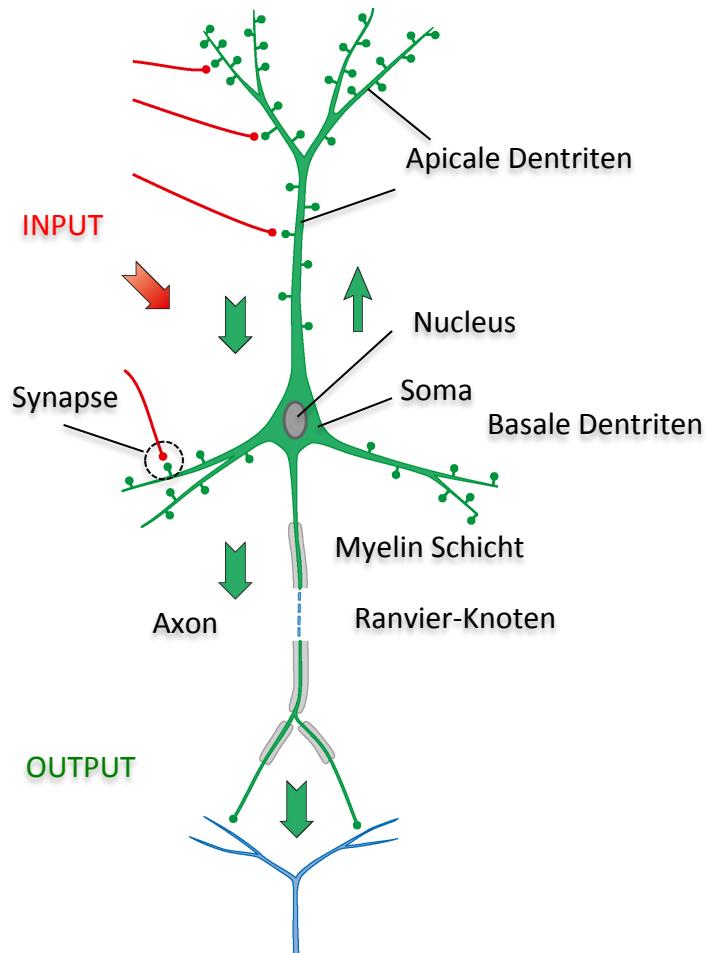
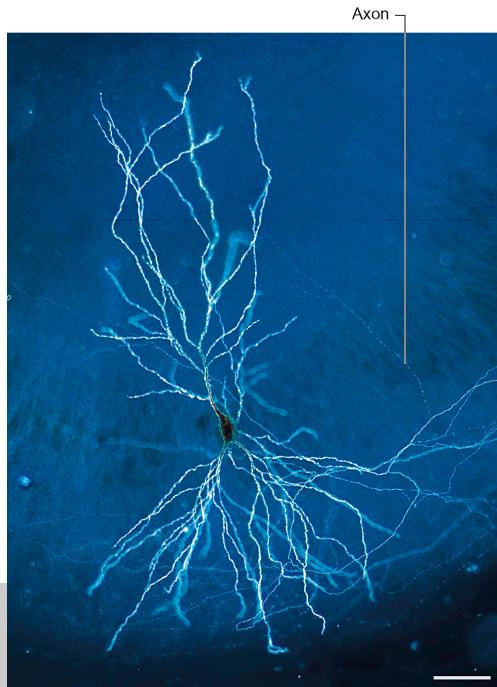


- Welche physiologische Prozesse ermöglichen das Entstehen von Perzepten, von mentalen Modellen?
- Wie genau sind die physiologischen Korrelate dieser kognitiven Prozesse bzw. kognitiver Leistungen?
- Wie kann man diese Messen?
- Wie kann man diese Messungen in technischen Systemen verwenden?

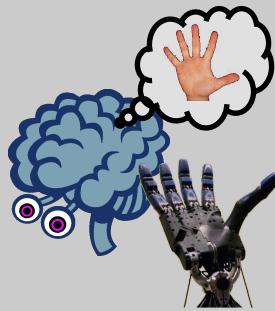
Das Neuron (Nervenzelle)



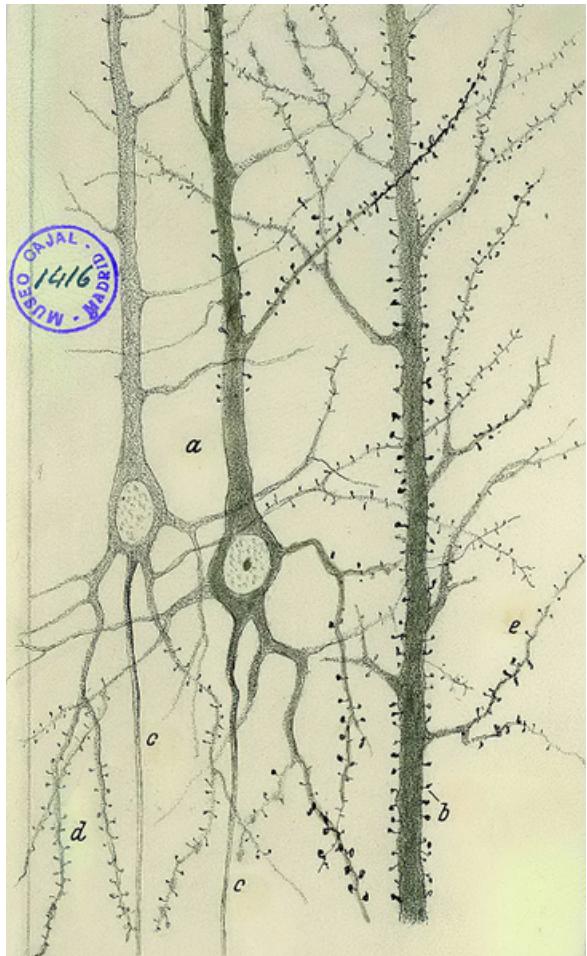
- Kleinste informationsverarbeitende Einheit im ZNS.
- Erst die Verschaltung vieler Neuronen lässt Funktionalität entstehen.
- Hochgradig parallele Rechenprozesse (mit 10^{11} Kernen!)



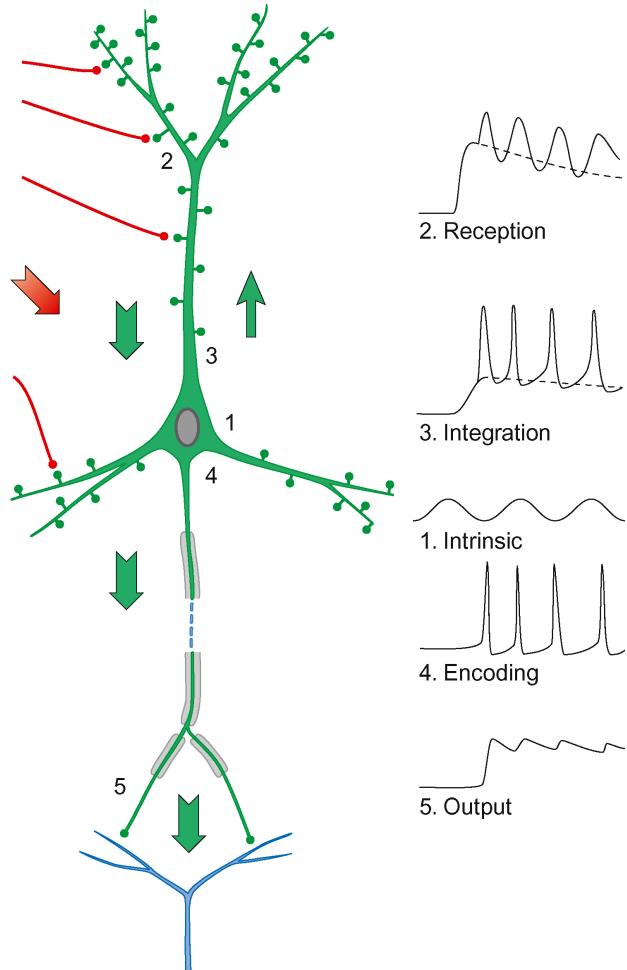
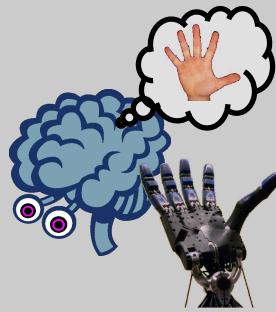
Beschreibung durch Ramon y Cajal



- Der spanische Mediziner Ramon y Cajal (1852 – 1934) war der erste, der die Bedeutung der Neuronen für die Informationsverarbeitung erkannt.
- Er wandte als erster die kurz zuvor entstandene Zelltheorie auf das Nervensystem und damit auch auf das Gehirn an.
- Bis dahin wurde angenommen, dass das Nervensystem aus Fasern besteht, die kontinuierliche, diffuse Netzwerke bilden.
- Für seine Arbeiten bekam er 1906 den Nobelpreis.



Reizleitung im Neuron



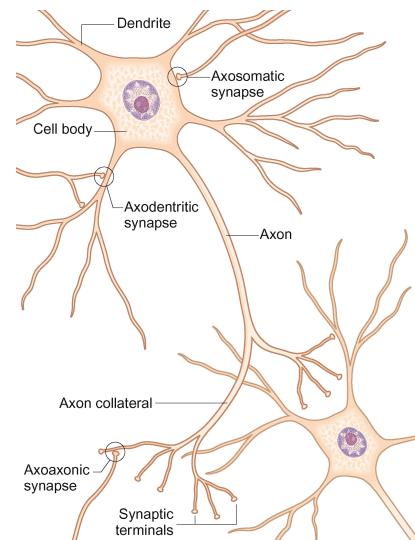
Dendriten empfangen synaptische Eingaben, erzeugen Membranpotentiale.

Wenn die Potentiale innerhalb eines kurzen Zeitintervalls einen Schwellwert überschreiten (3), wird die Depolarisation der Axonen-Membran angestoßen: ein Aktionspotential (4).

Intrinsisches Membranpotential.

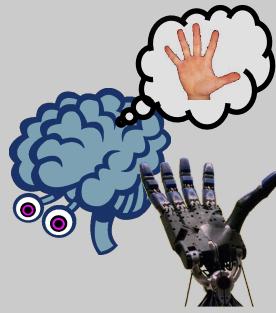
Aktionspotential ("Alles-oder-Nichts" Kodierung).

Reizweiterleitung an Synapsen mit anderen Neuronen.
Hierbei wird der Ausstoß von *chemischen Neurotransmittern* angeregt (können excitatorisch oder inhibitorisch wirken, also die Verbindung stärken oder schwächen).

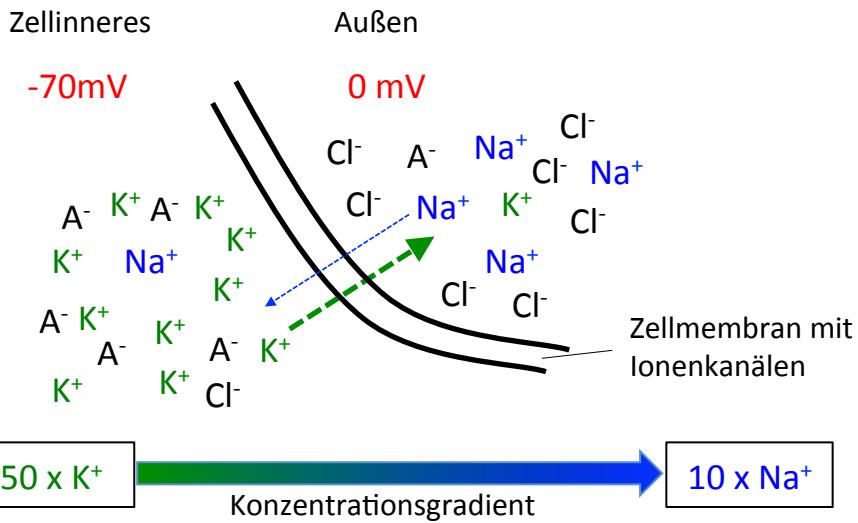


Synapsentypen

Aktionspotential



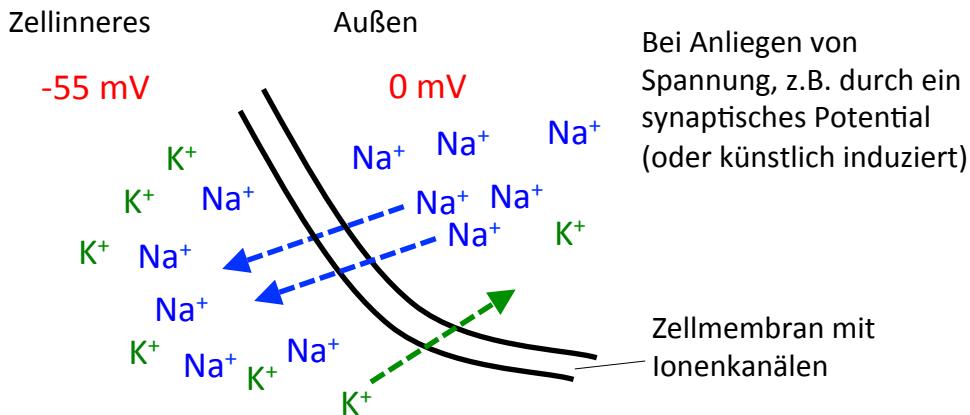
Ruhepotential



Na^+-K^+ Pumpe (Integrales Membran-Protein)

- Sorgt für einen *stabilen Zustand* der Zelle, indem sie K^+ und Na^+ Ionen entgegen der Gradientenrichtung presst.
- Dadurch bleibt der Konzentrationsgradient im Gleichgewicht.

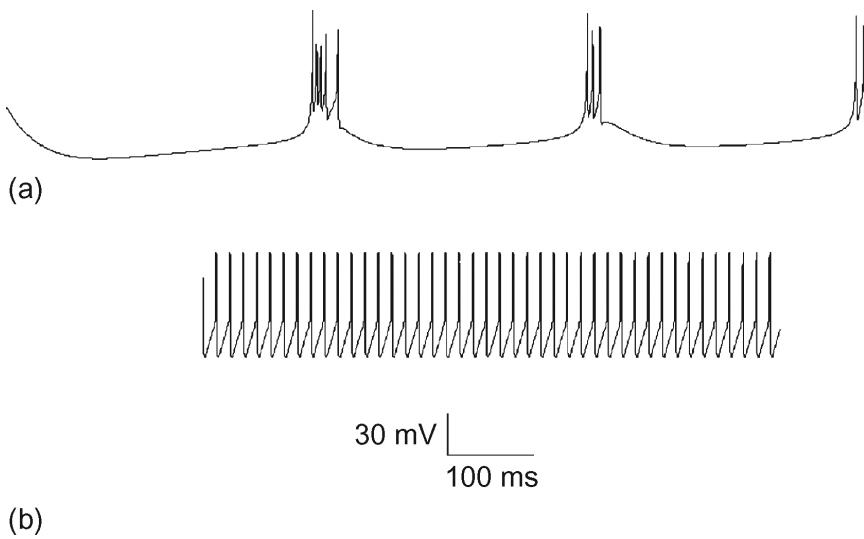
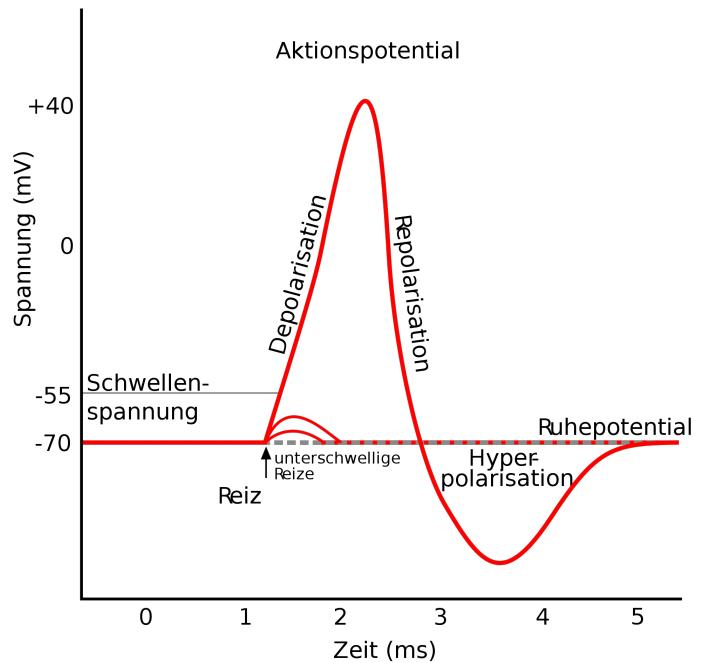
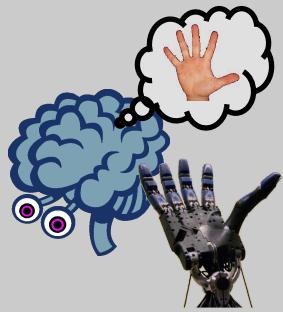
Aktionspotential = Depolarisation



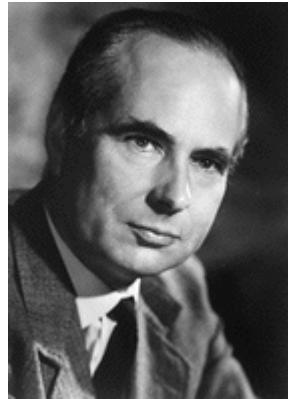
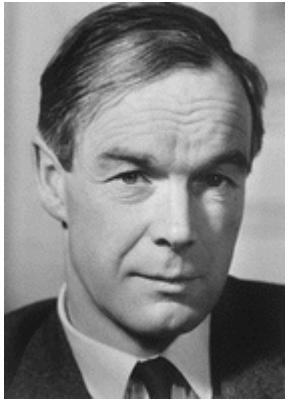
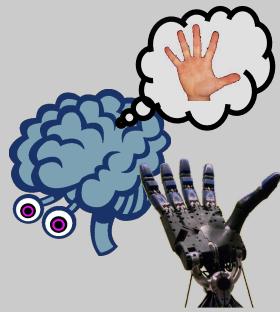
Depolarisation = Verringerung des Membranpotentials
→ Neuron feuert, es ist *exitatorisch*

Hyperpolarisation = Vergrößerung des Membranpotentials
→ Neuron feuert nicht, es ist *inhibitorisch*

Aktionspotentiale



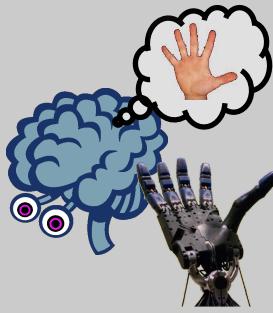
Das “erste” Aktionspotential



- Alan Hodgkin und Andrew Huxley haben 1952 zum ersten Mal ein Aktionspotential gemessen und nachgewiesen.
- Es wurde am Axon des Riesen-Tintenfisches gemessen.
- Dafür bekamen sie 1963 den Nobelpreis.

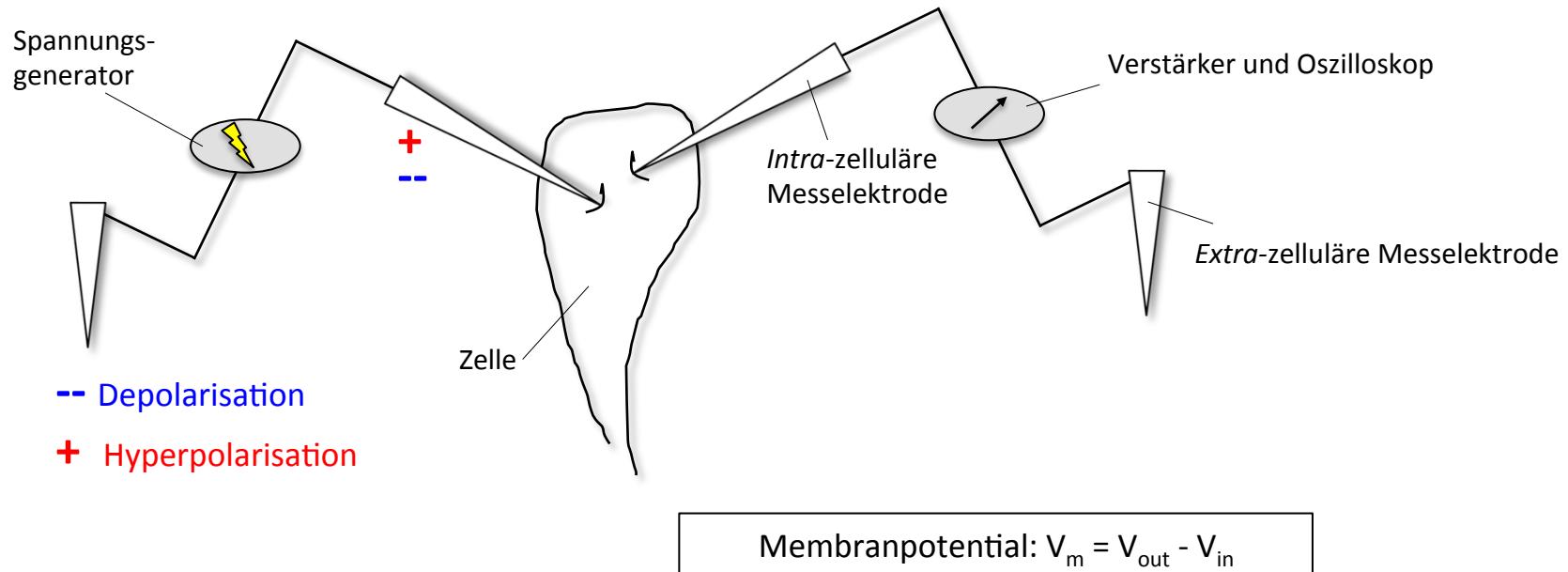


Messen und Induzieren von Aktionspotentialen

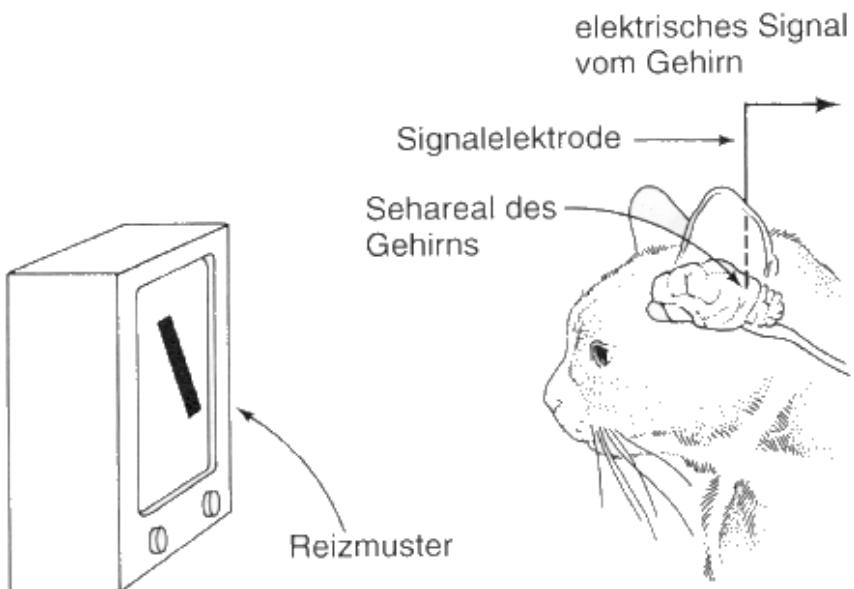
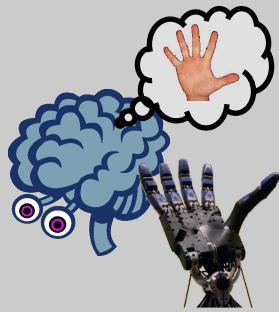


Historisch: Etwa seit den späten 1940er Jahren gibt es Techniken, innerhalb von Zellen zu messen.

Technisch: *Bipolare Ableitung (Intrazellulär).*

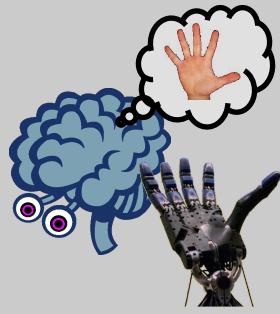


Beispiel



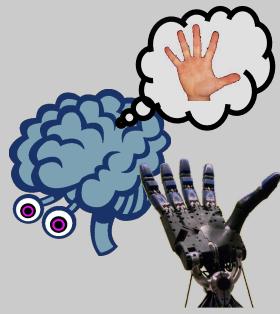
- Zum Verständnis der Bildverarbeitung im primären visuellen Kortex werden Aktionspotentiale von einzelnen Neuronen abgeleitet (während den Augen ein visueller Stimulus präsentiert wird)
- Kortikale Neurone, z.B. von Katzen und Rindern, reagieren am besten auf Strichmuster und Lichtbalken

Charakteristika intra-zellulärer Messungen



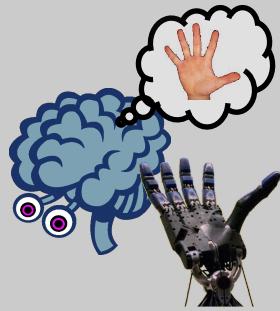
- invasiv
- Beste Signalqualität aller möglichen Messmethoden
→ Signal-Rausch Verhältnis
- Nur bei Tieren möglich
- Aufnahme mit Mikroelektroden
- Sehr hohe Spezifität in Bezug auf einzelne Neuronen oder kleine Neuronenverbände
- Signal Verschlechterung über die Zeit durch Vernarbung des umliegenden Gewebes

Informationskodierung

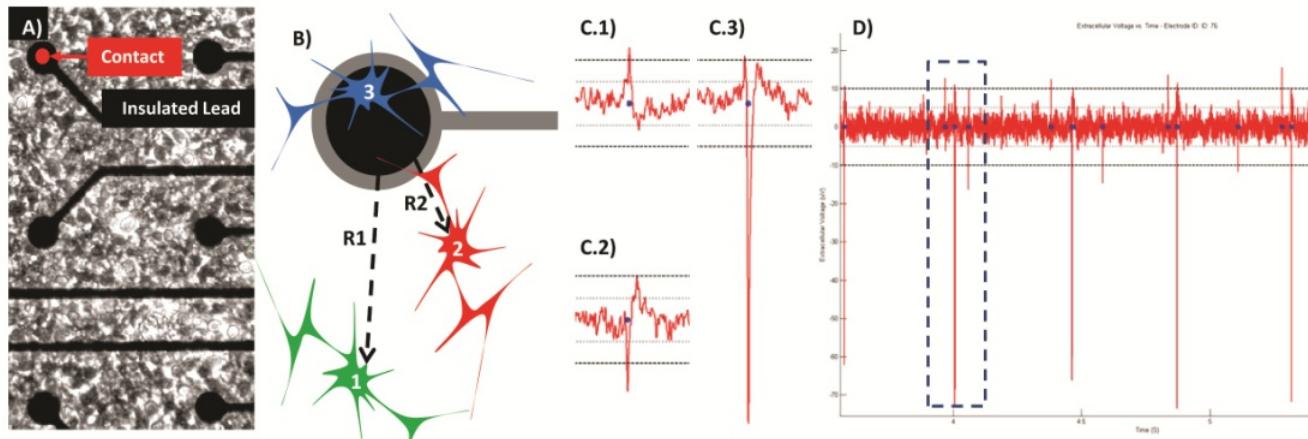


- Aktionspotentiale werden als *binäre* Ereignisse aufgefasst.
 - Einzelne Aktionspotentiale tragen keine Information über den neuronalen Code.
 - Die Kodierung der Information erfolgt durch die *Feuerrate*, d.h. die (mittlere oder statistische) Anzahl Aktionspotentiale oder *Spikes*, die ein Neuron innerhalb einer Zeitspanne produziert.
 - Die Feuerrate hängt von der Intensität der Eingaben ab.
 - Der Zusammenhang zwischen Stimulusintensität und Feuerrate ist i.d.R. nicht-linear.
 - Beispiel: Weiterleitung sensorischer Stimulation: Je stärker die Stimulation, desto höher die Feuerrate der Neuronen auf den sensorischen Bahnen.
- **Fazit: Die Feuerrate eines Neurons ist die kleinste, informationstragende Einheit des neuronalen Codes.**

Bedeutung für Messungen

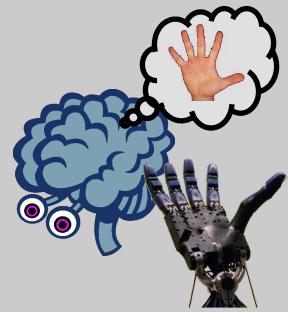


- Die intra-zelluläre Messung einzelner Aktionspotentiale ist (in den meisten Anwendungsfällen) nicht sinnvoll.
- Messungen werden daher in aller Regel *außerhalb* der Zellen , also *extra-zellulär*, vorgenommen.
- Die Größe der Messelektrode (ihr Durchmesser) bestimmt die *räumliche Auflösung* der Messung, d.h. die Anzahl Zellen, deren *summierte Aktivierung* von der Elektrode erfasst wird (für Einzellableitungen $\leq 1 \mu\text{m}$).
- Das außerhalb der Zelle gemessene Signal ähnelt stark dem intra-zellulären Aktionspotential.
- Einzellableitungen werden häufig auch *in-vitro* vorgenommen, also bei Zellgewebe (im Gegesatz zu *in-vivo*).

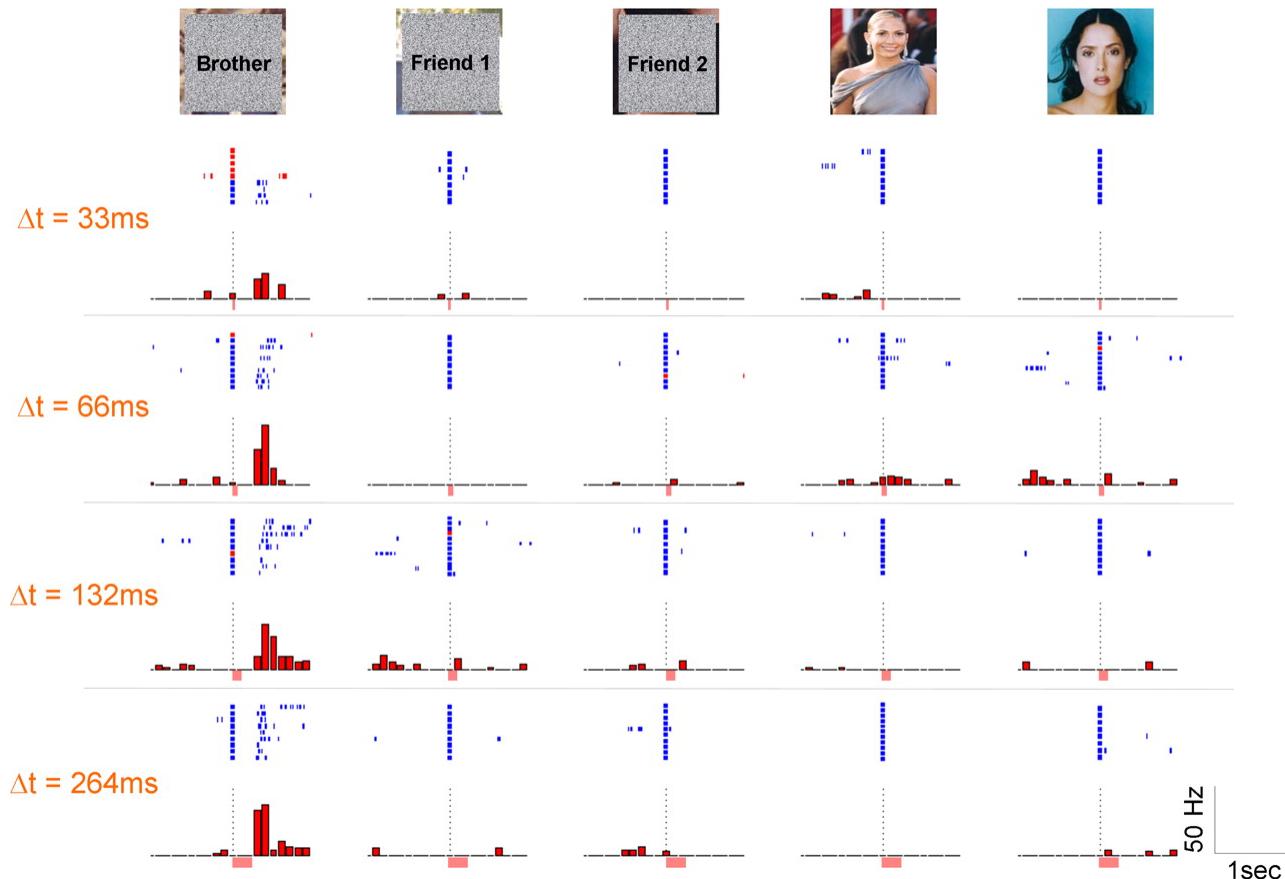


Langhammer
et al. 2011

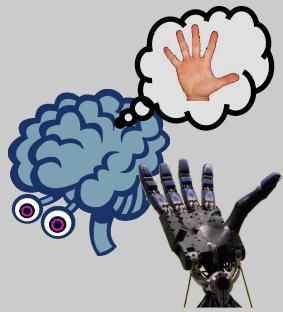
Beispiel (Quiroga et al. 2008)



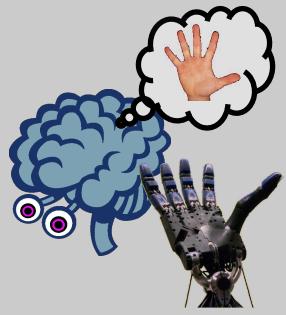
- Studie: Antwortverhalten einzelner Neuronen bei der Betrachtung bekannter Gesichter
- Messung: 161 einzelne Zellen und 279 Zellverbünde
- 5 Teilnehmer (Epilepsie-Patienten)



(Vereinfachende) Annahmen



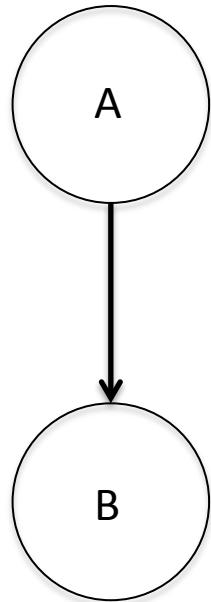
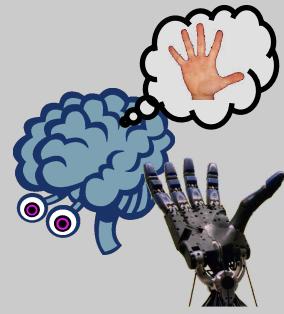
- Das “Integrate-and-fire” Neuron – Eine Zelle feuert bei Überschreitung eines Schwellwertes ihres Membranpotentials, sonst nicht.
- Wir betrachten Spikes als die kleinste informationstragende Einheit neuronaler Verarbeitung.
 - **Spikes bilden somit eine zeitliche Kodierung von Information. Die Kodierung in Spikes kann als low-level Kode angesehen werden!**
- Neuronen bilden synaptische Verbindungen mit manchmal vielen hunderten oder tausenden anderen Zellen.
- Diese Verbindungen können uni- oder bi-direktional sein (meist das Letztere).
- Die Verbindungen können exitatorisch oder inhibitorisch sein.



Zellverbände

- Manchmal auch Hebb'sche Zellverbände genannt, nach dem Psychologen Donald Hebb (1949).
 - Gruppen von Neuronen, die über synaptische Verbindungen verfügen. Ihr kombiniertes Feuerverhalten bildet das Aktivitätsmuster des Zellverbands.
 - Verbindungen können lokal sein (benachbarte Zellen) oder auch weit entfernte Zellen einschließen.
 - Sie können transient sein, also nur kurzzeitig, aber auch langfristig.
 - Instabile Aktivitätsmuster sterben aus, d.h. es bildet sich kein Zellverband aus.
 - Zellverbände mit sowohl **exitatorischen** und **inhibitorischen** Verbindungen sind besonders stabil und dauerhaft.
- **Zellverbände sind funktionale Einheiten. Sie bilden sich immer wieder neu als Ergebnis von Lernen. Die Neubildung ist das Grundprinzip von neuronaler und kortikaler Plastizität.**

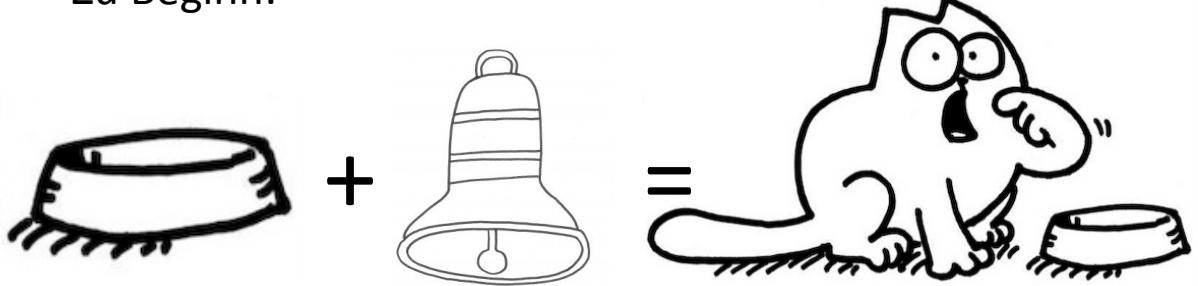
Hebb'sche Regel



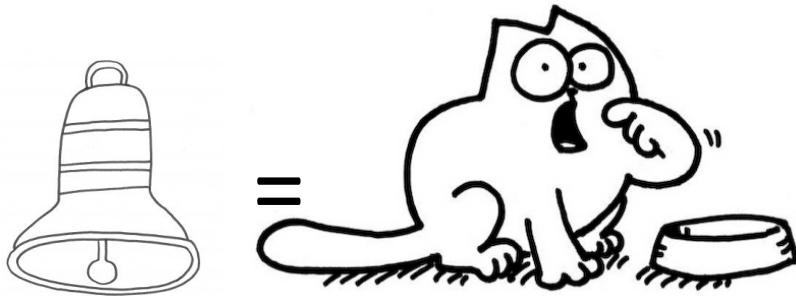
Wenn Neuron A und Neuron B wiederholt gemeinsam feuern, wird ihre Verbindung gestärkt.

Pawlow'scher Hund (Konditionierung)

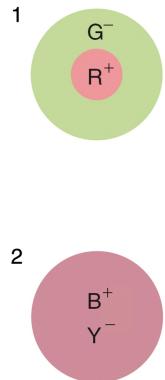
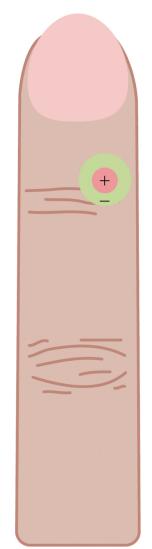
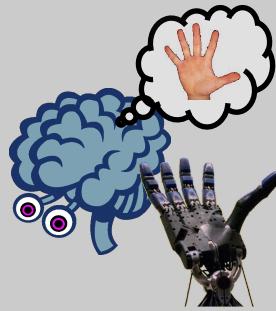
Zu Beginn:



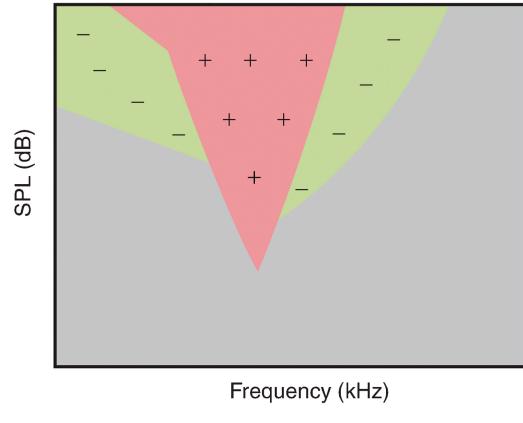
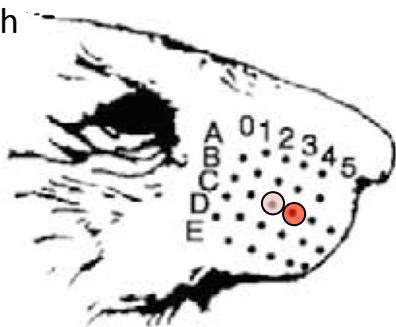
Nach vielen Wiederholungen:



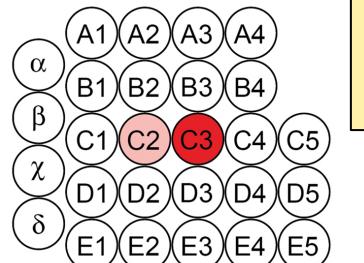
Rezeptive Felder



Somatosensorisch



Akkustisch

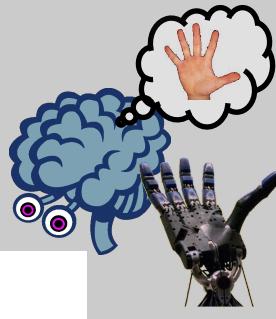


Rezeptive Felder der Schnurrhaare

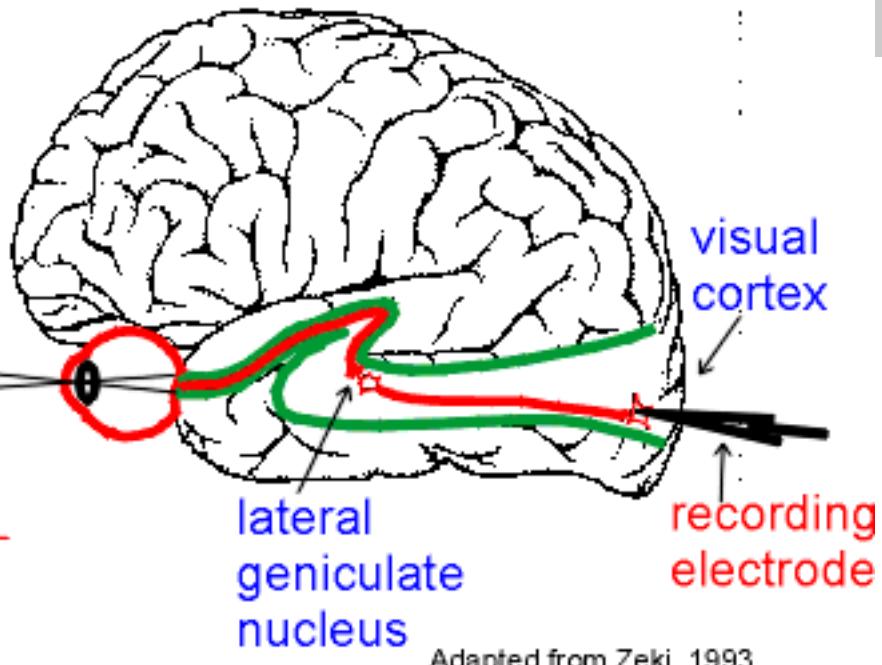
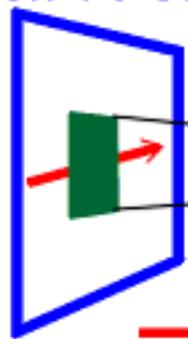
- Einfachstes Beispiel für exitatorische und inhibitorische Verschaltung (laterale Inhibition)
- Kontrastverstärkung bei sensorischem Input
- In allen sensorischen Modalitäten
- Im somatosensorischen Fall bestimmt die Größe des rezeptiven Feldes die räumliche Auflösung der Empfingung.
- Schönes Beispiel:
→ Die Schnurrhaare der Ratte.



Beispiel kortikale rezeptive Felder



stimulus presented
on TV screen



Adapted from Zeki, 1993

The spikes illustrated above show a high spike rate when the rectangle moves to the right but none when it is moved to the left or down. If the rectangle is moved to the right but slightly in an upward direction the spike rate would be reduced.