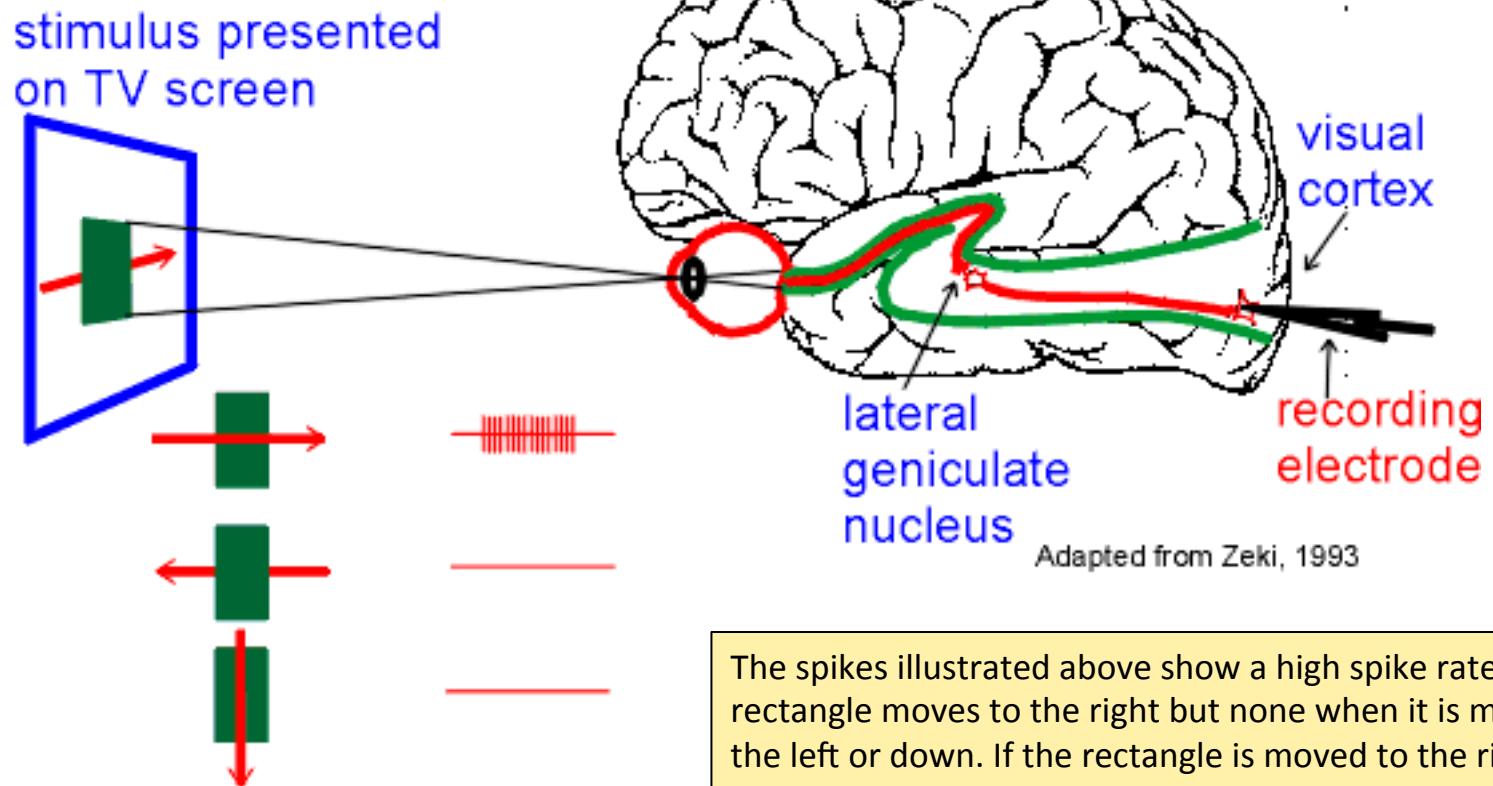
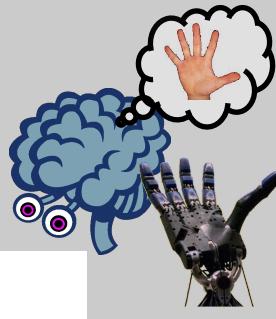
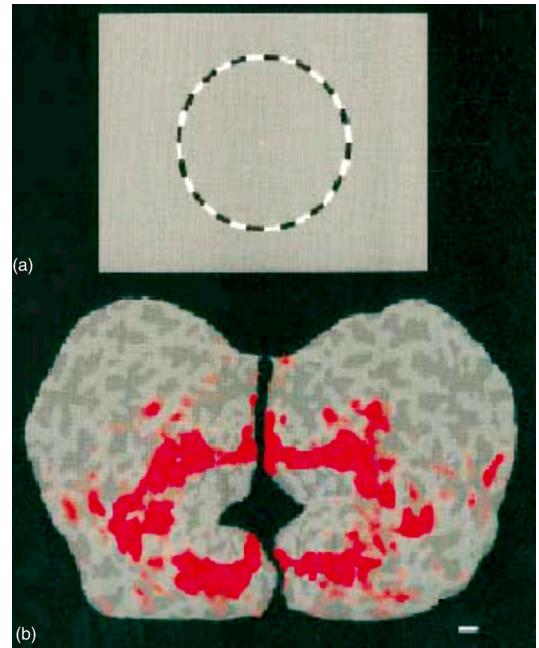
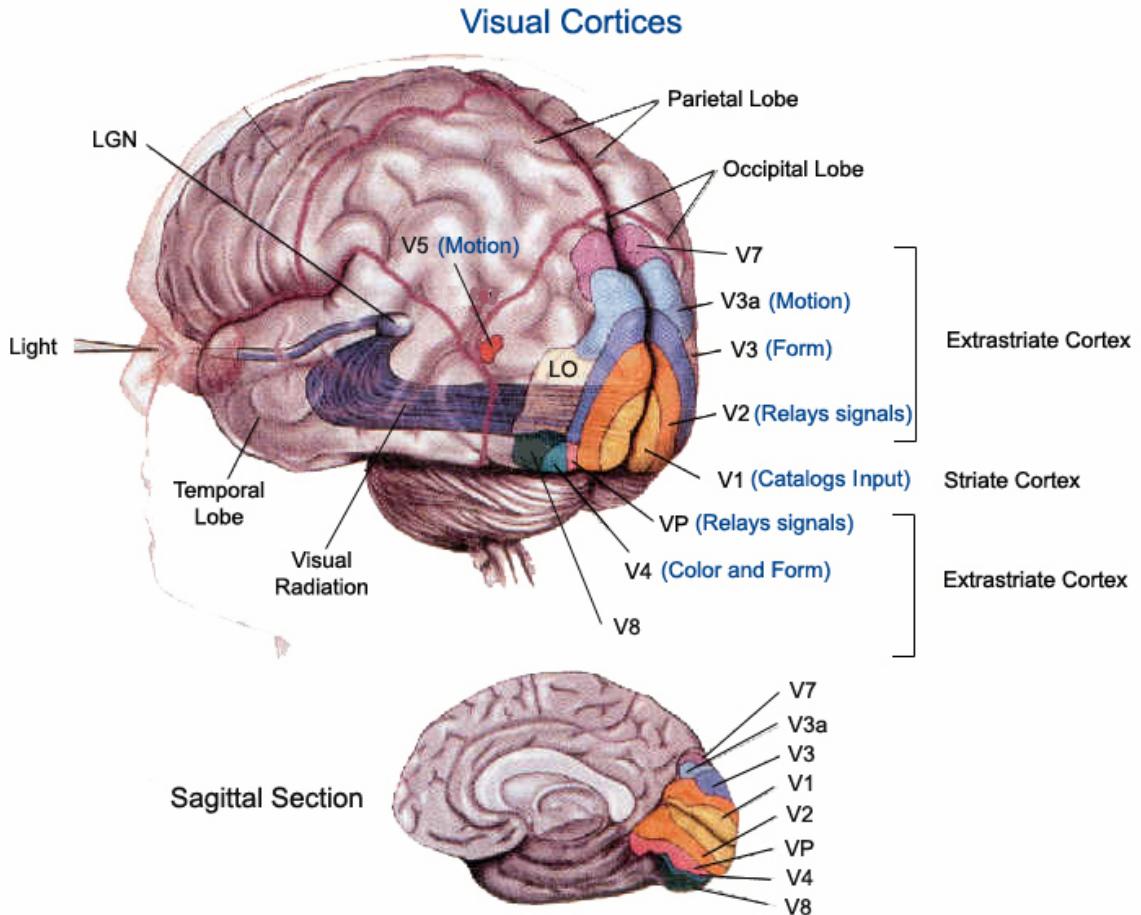
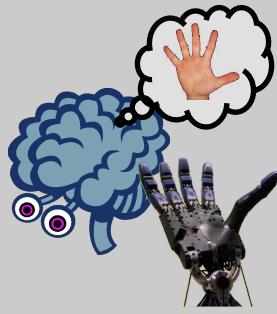


Beispiel kortikale rezeptive Felder

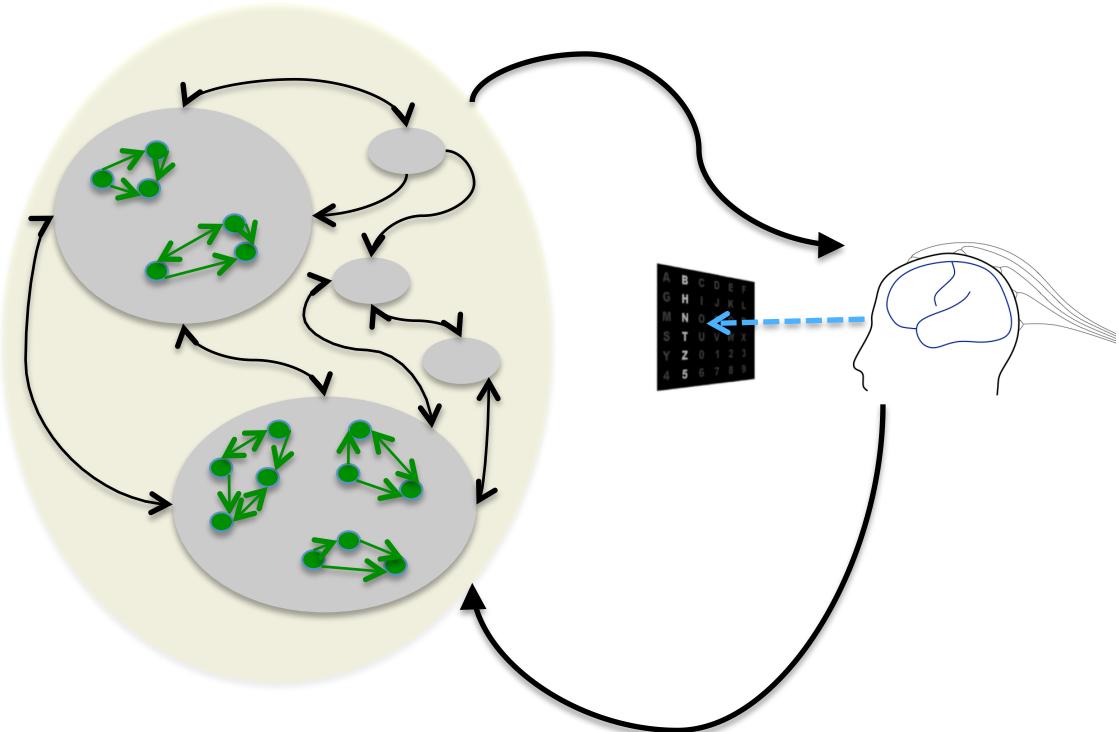
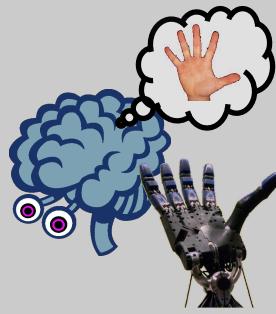


The spikes illustrated above show a high spike rate when the rectangle moves to the right but none when it is moved to the left or down. If the rectangle is moved to the right but slightly in an upward direction the spike rate would be reduced.

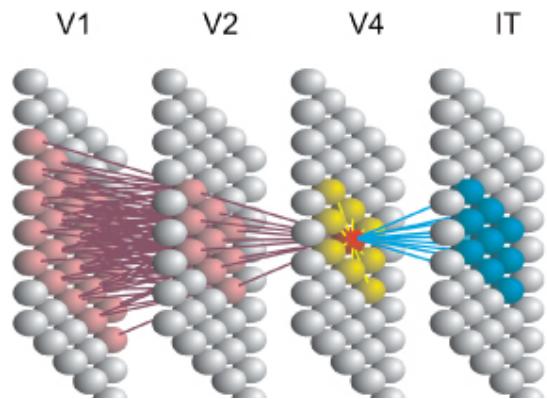
Arrays und Maps - Die visuellen Kortices



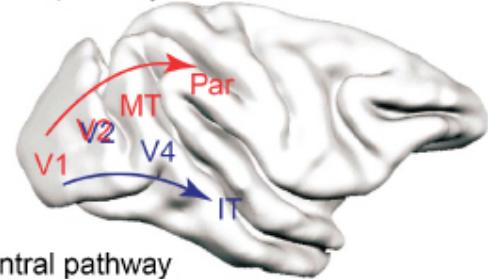
Arrays und Maps – Räumliche Kodierung



- Lokale Gruppen benachbarter Neuronen nennt man Maps.
- Diese Maps bilden große Arrays.

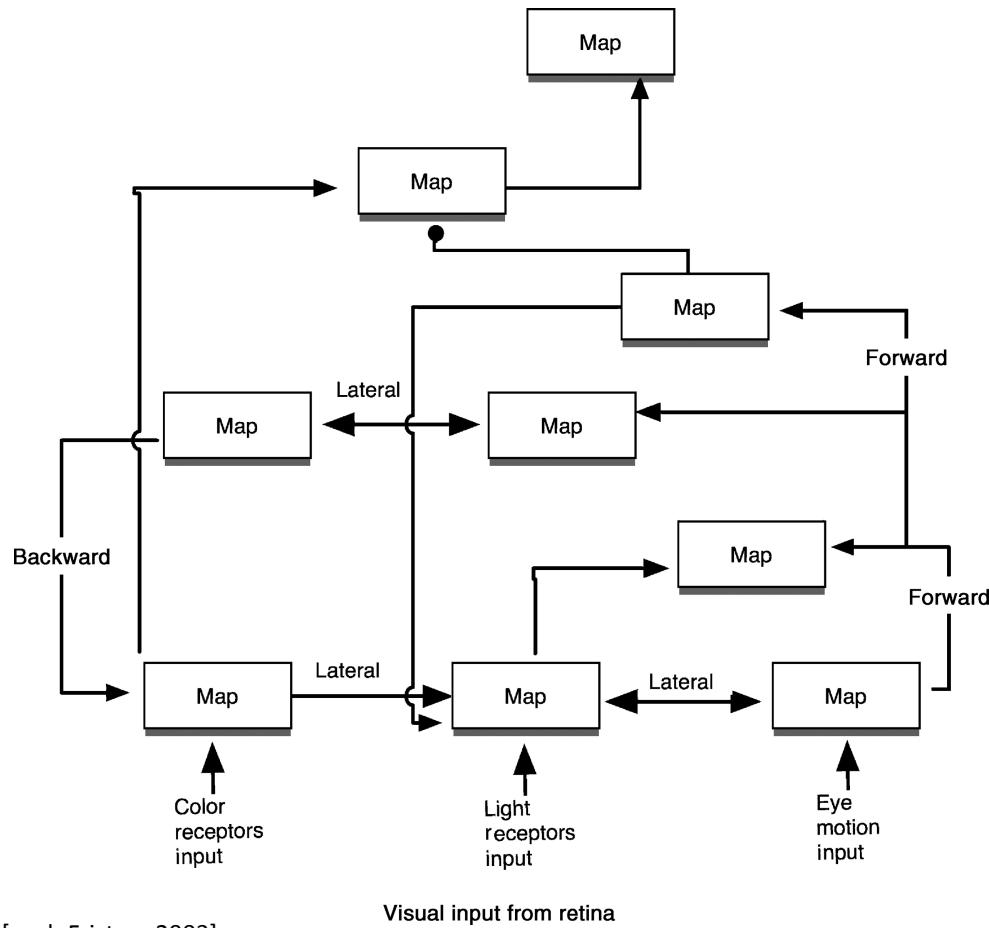
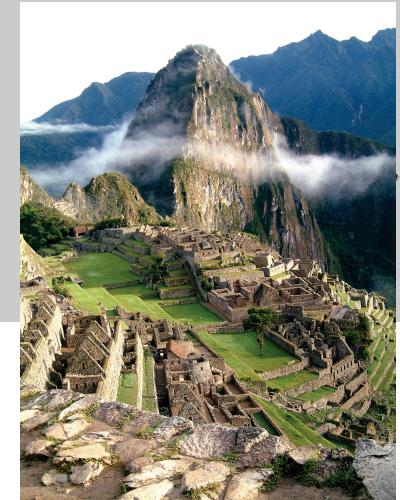


Dorsal pathway



Ventral pathway

Hierarchien von Maps



- Abstrakte Darstellung einer Verschaltungshierarchie zwischen verschiedenen neuronalen Karten.
- Obwohl dies ein Beispiel visueller Verarbeitung ist, ist das Layout ebenso typisch für sensorische und motorische Verschaltungen.

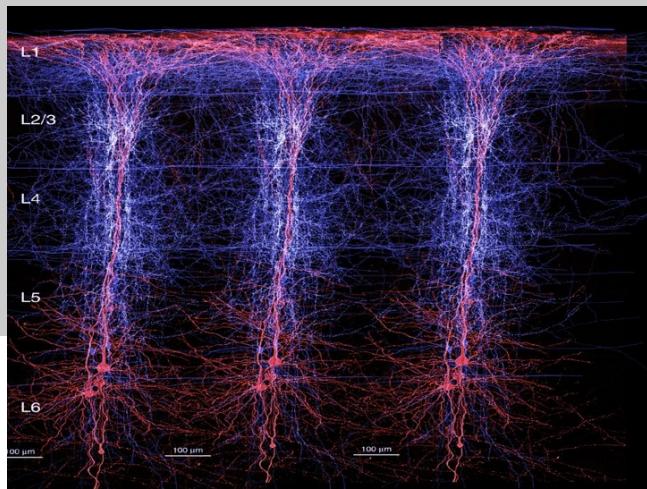
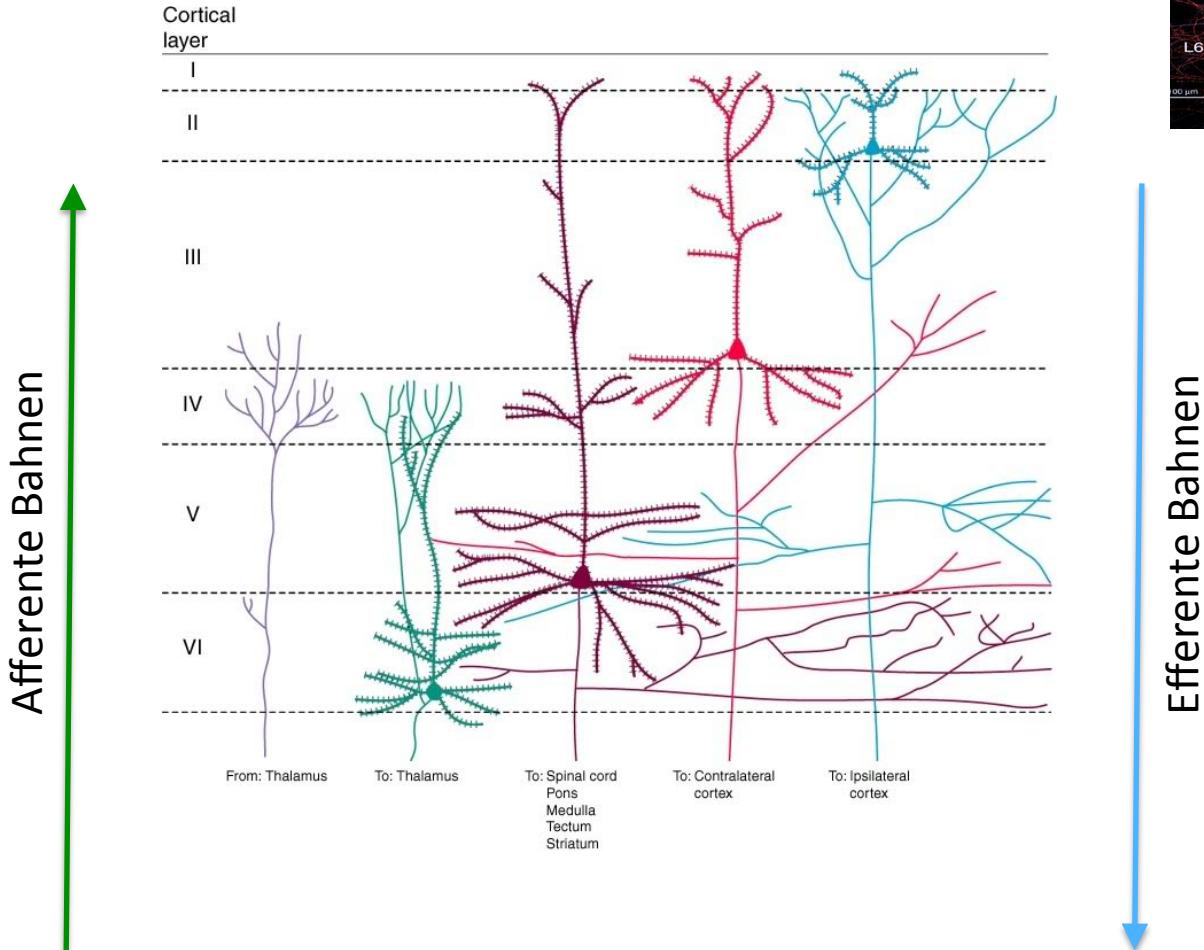
Verschaltungstypen:

Forward: In höhere Hierarchiestufen.

Backward: In niedrigere Hierarchiestufen.

Lateral: Innerhalb einer Hierarchiestufe.

Arrays und Maps – Räumliche Kodierung



Kortikale Spalten (Columns)

Afferente Bahnen

↓

L1

L2/3

L4

L5

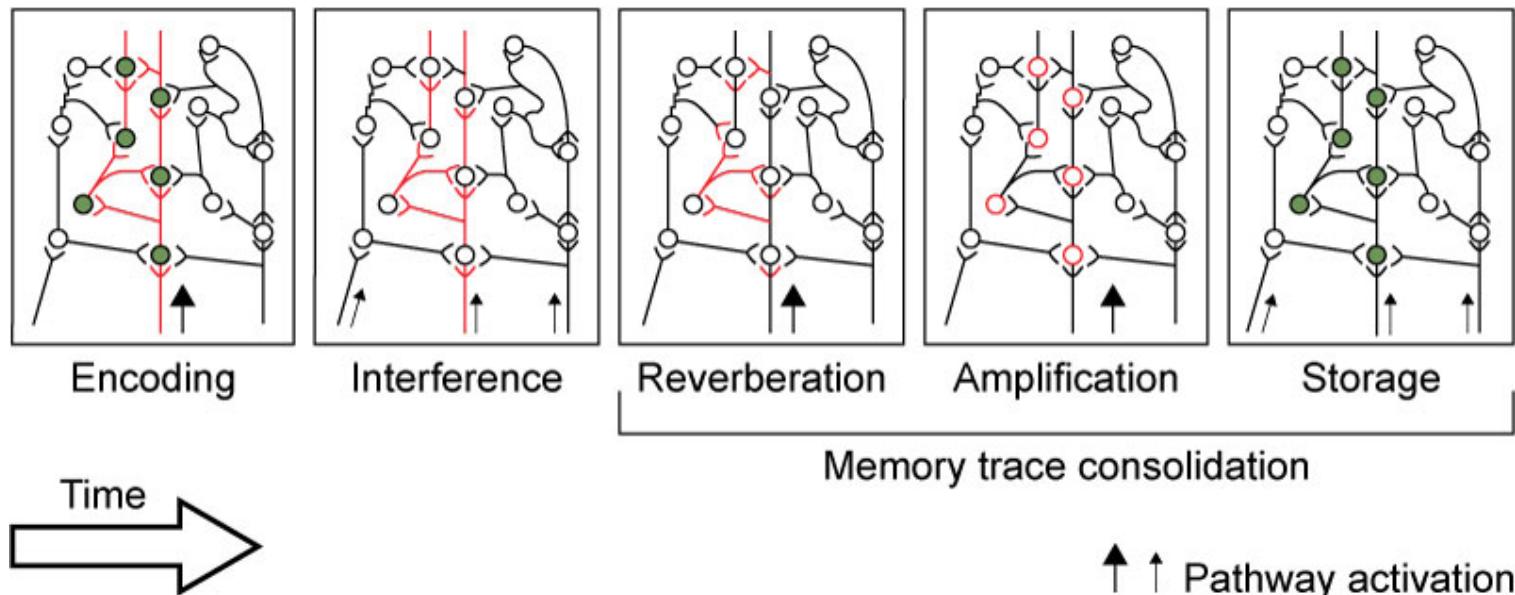
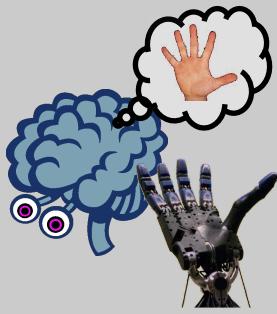
L6

100 μm

100 μm

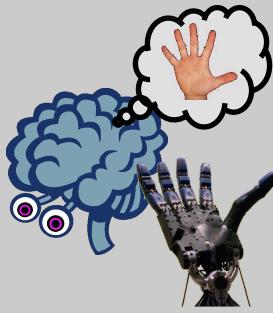
100 μm

Adation und Lernen in neuronalen Arrays – darwinistisches Prinzip



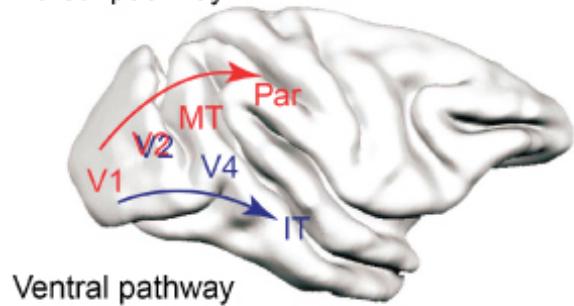
Source: Ribeiro et al., 2006.

Arrays und Maps – vom Stimulus zum Perzept

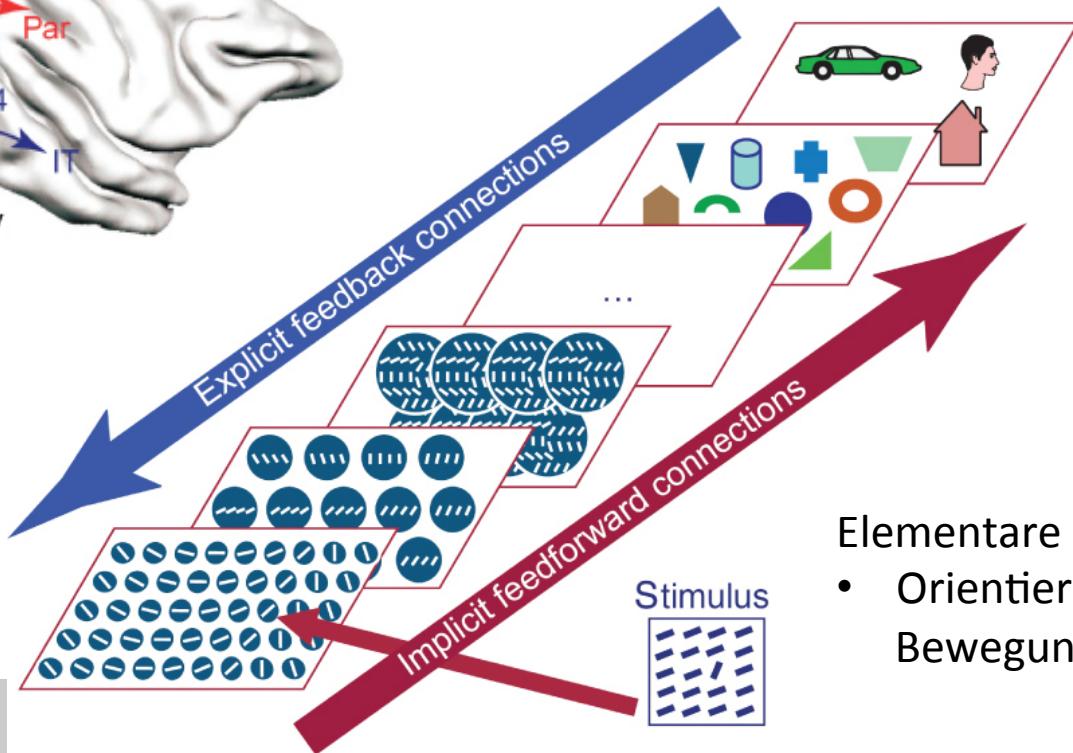


Beispiel: Visuelles System

Dorsal pathway

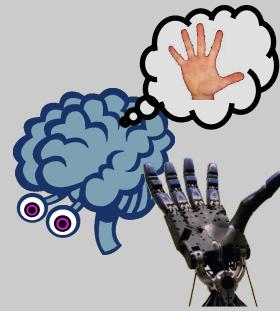


Ventral pathway



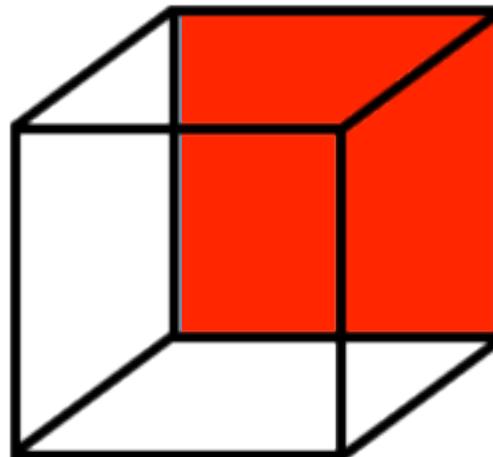
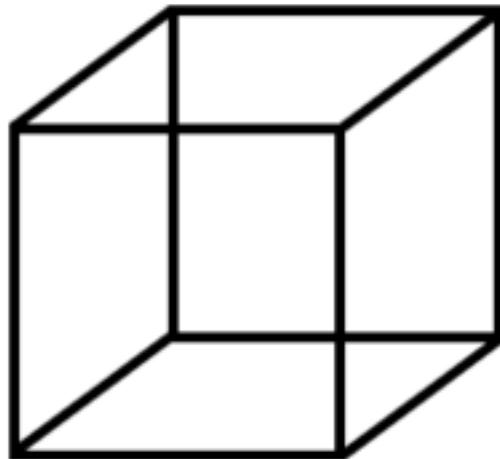
Elementare Merkmale:
• Orientierung, Farbe,
Bewegungsrichtung,...

Vom Stimulus zum Perzept – „Weggabelungen“

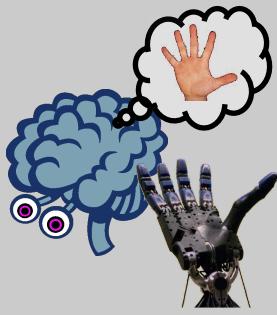


- Der Informationsfluss auf dem Weg vom Stimulus zum Perzept beeinhaltet auch Stellen („Weggabelungen“), an denen das Gehirn zwischen konkurrierenden Perzepten entscheiden muss.
- Beispiel: Ambige Bilder

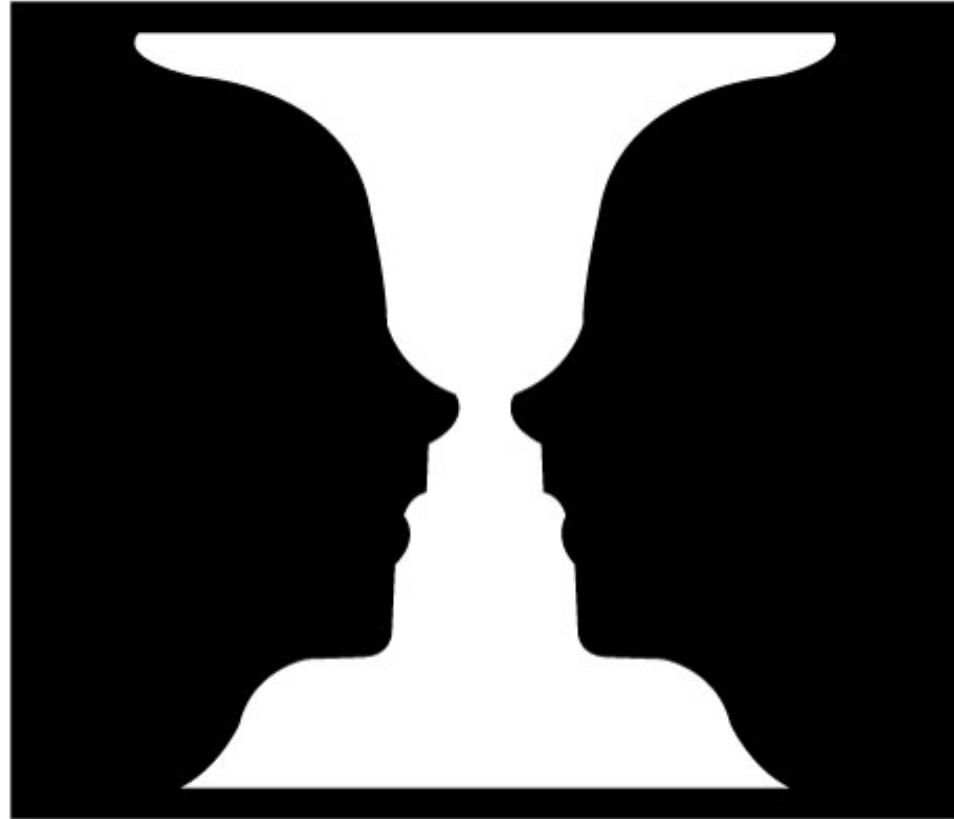
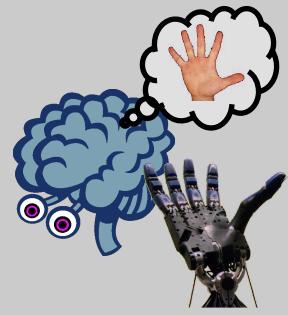
Neckar - Würfel



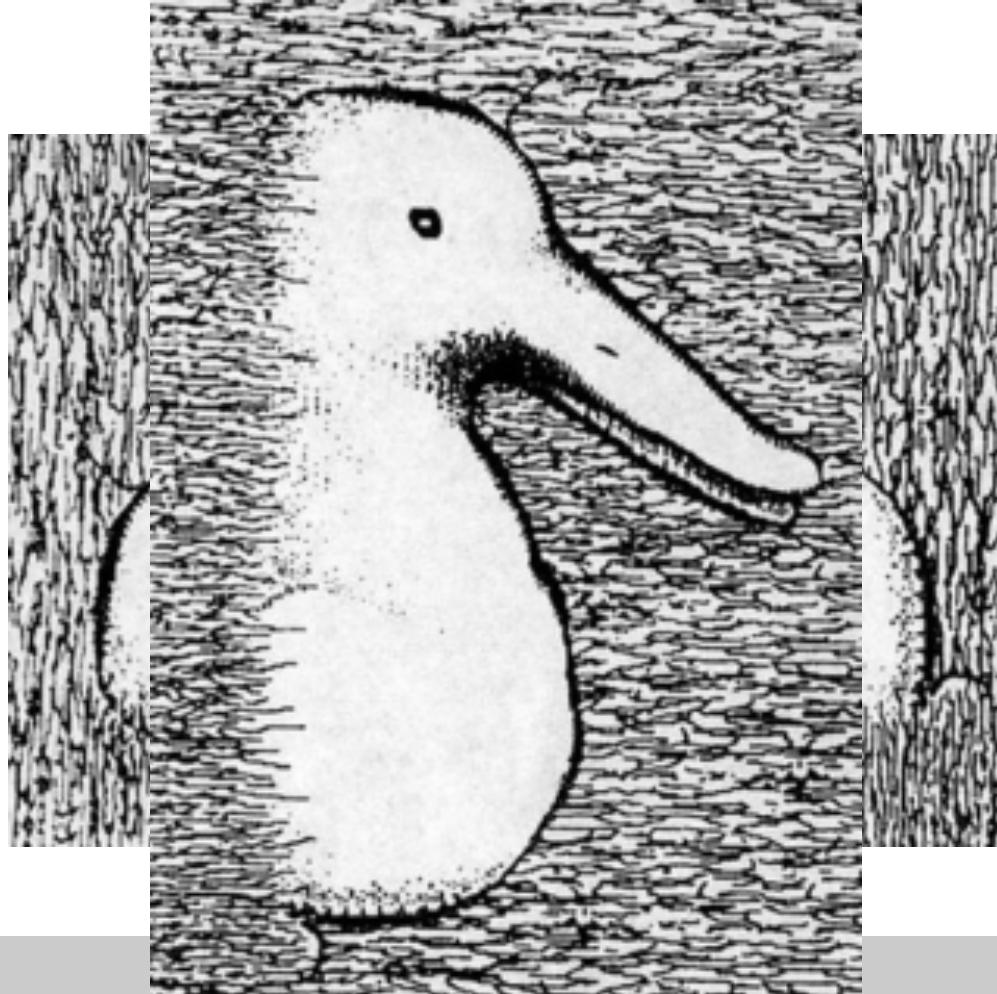
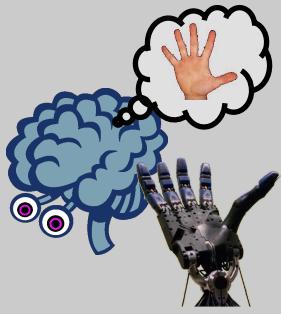
Vom Stimulus zum Perzept – „Weggabelungen“



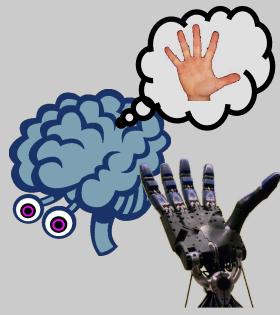
Vom Stimulus zum Perzept – „Weggabelungen“



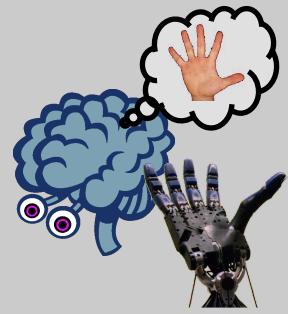
Vom Stimulus zum Perzept – „Weggabelungen“



Vom Stimulus zum Perzept – „Weggabelungen“



Vom Stimulus zum Perzept – „Weggabelungen“

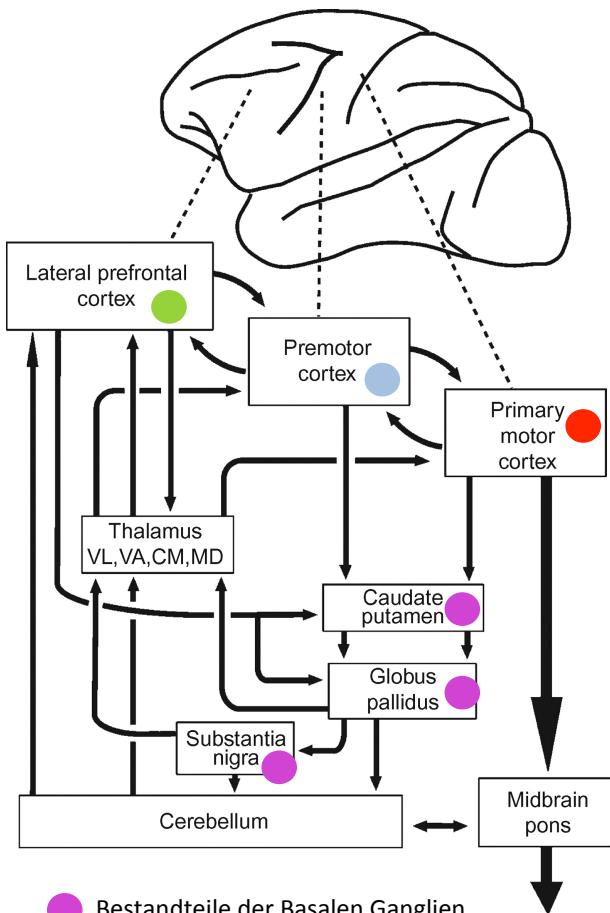
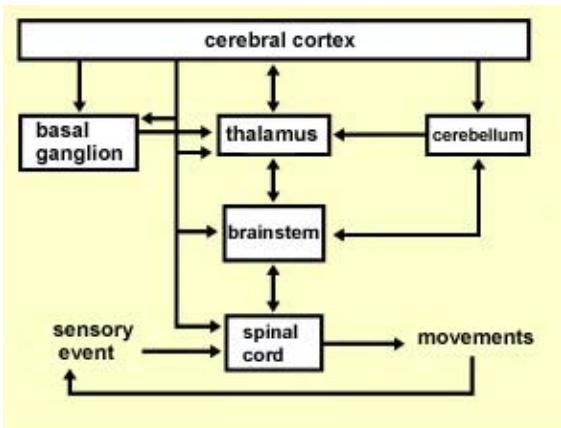
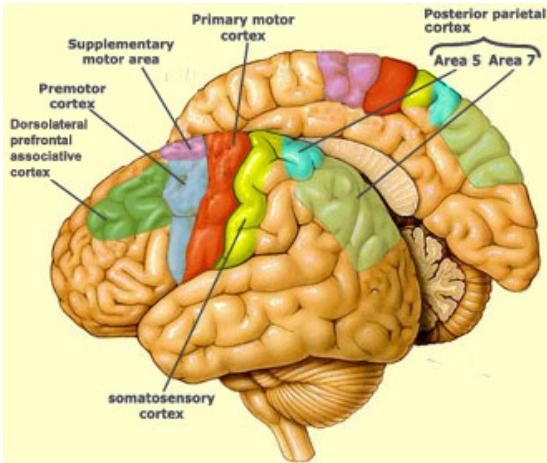
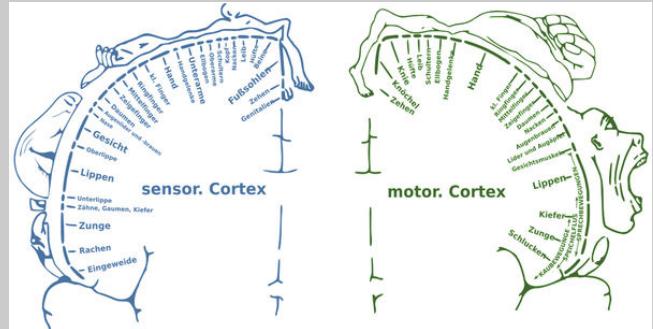


www.rasiel.com

Paranoiac Visage, 1935 - Dali

Salvador Dali, "Paranoiac Visage"

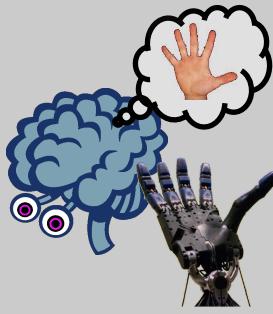
Das motorische System



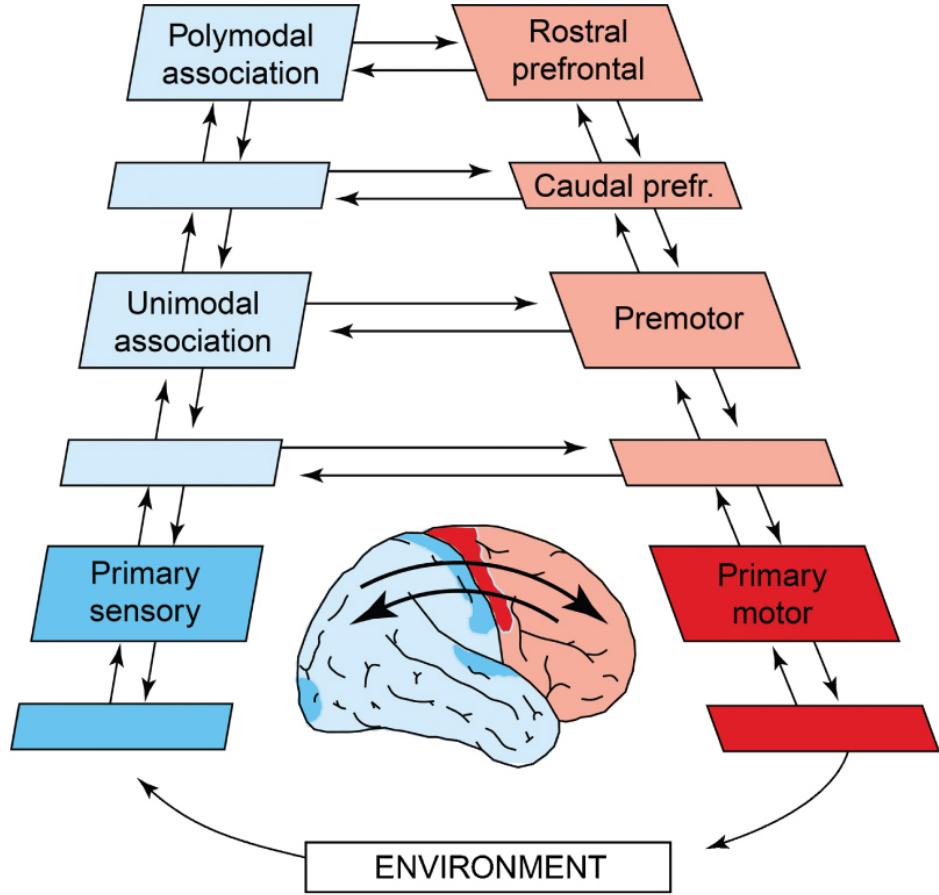
Aktivierungssequenz für motorische Handlungen

1. Ziele der Bewegung planen → Präfrontaler Kortex und Basale Ganglien (erhalten Eingaben von parietalen Regionen)
2. Präzisieren der Sequenz für die benötigten Muskelkontraktionen, Einstellen der Gelenkwinkel, Planung in intrinsischen Koordinaten → PMA und SMA, Cerebellum
3. Bestimmung der nötigen Kraft für das Ausführen der Bewegung und Steuerkommando abschicken → PMC

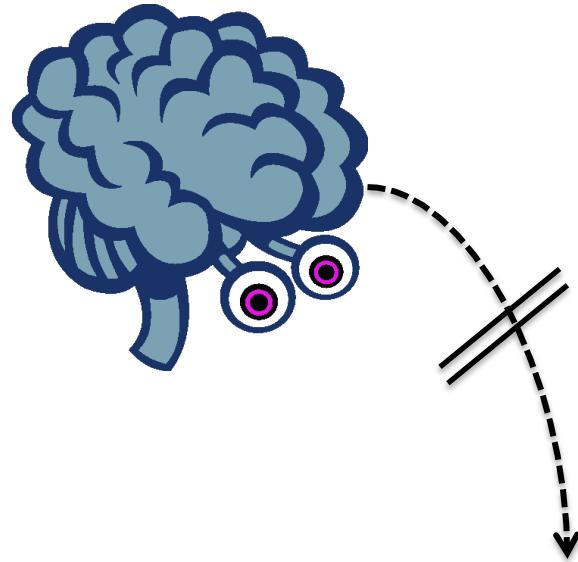
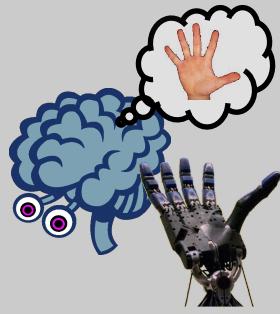
Das senso-motorische System – Arrays und Maps



- Das sensorische und das motorische System sind eng verkoppelt.
- Fuster (2004) postuliert, dass der gesamte Kortex als Hierarchien senso-motorischer Netzwerke gedacht werden kann.
- Information fließt ständig zwischen den parietalen Regionen sensorischer Verarbeitung und frontalen Regionen (Planung und Ausführung)



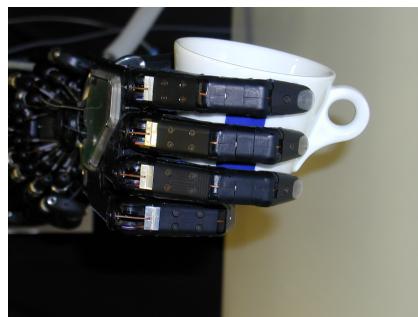
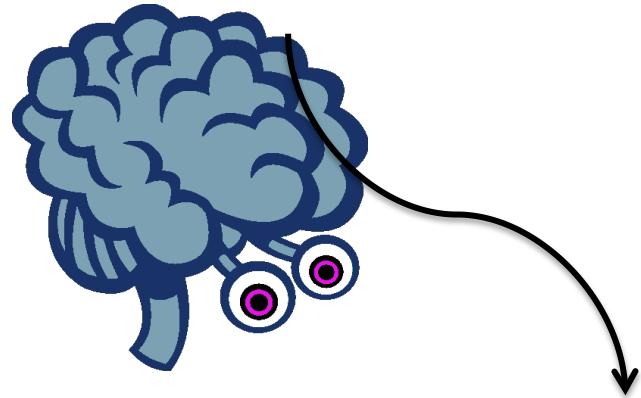
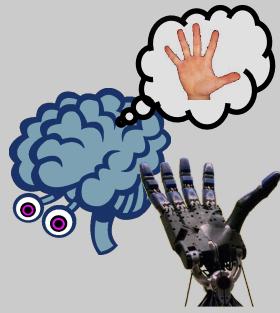
BMI und das senso-motorische System



Das kortikale, senso-motorische System ist der “natürliche” Kandidat, um Signale für die Verwendung in einem Brain-Machine Interface zu generieren.



BMI und das senso-motorische System



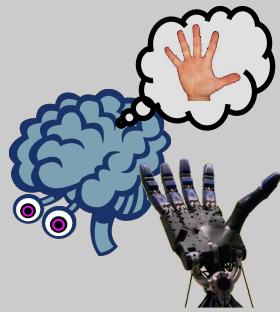
Objektmanipulation

- BMI Systeme, die der Steuerung eines externen Gerätes dienen, gehen implizit davon aus, dass das kortikale senso-motorische System vollständig intakt ist und lediglich die Verbindung zum peripheren Nervesystem unterbrochen.



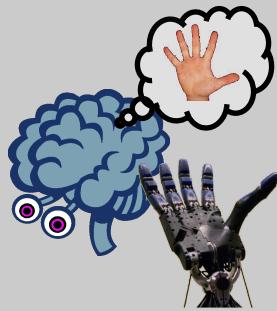
Bewegung

Spiegelneuronen (Mirror neurons)

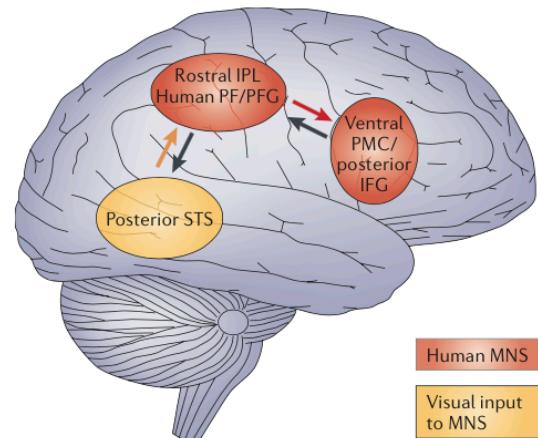


- Im präfrontalen und parietalen Kortex befinden sich Neuronenruppen, welche als Spiegelneuronen bezeichnet werden (auch Mirror Neuron System – MNS)
- Das besondere an diesen Neuronen ist, dass sie nicht nur bei tatsächlich ausgeführten motorischen Handlungen aktiv sind, sondern auch, wenn dieselbe Bewegung bei einem anderen nur beobachtet wird.
- Spiegelneuronen wurden 1996 erstmals von Rizzolatti und Kollegen im frontalen Kortex von Macaque-Affen nachgewiesen.
- Während bei den Versuchstieren direkt die Aktivierung einzelner Neuronen gemessen werden konnte, ist ein Nachweis beim Menschen nur indirekt möglich.

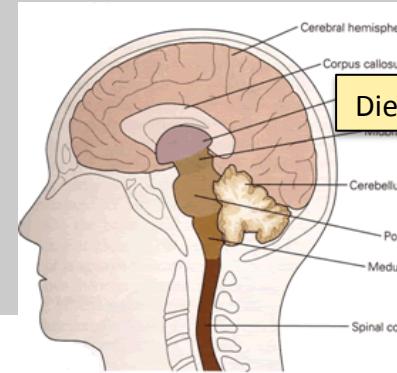
Spiegelneuronen (Mirror neurons)



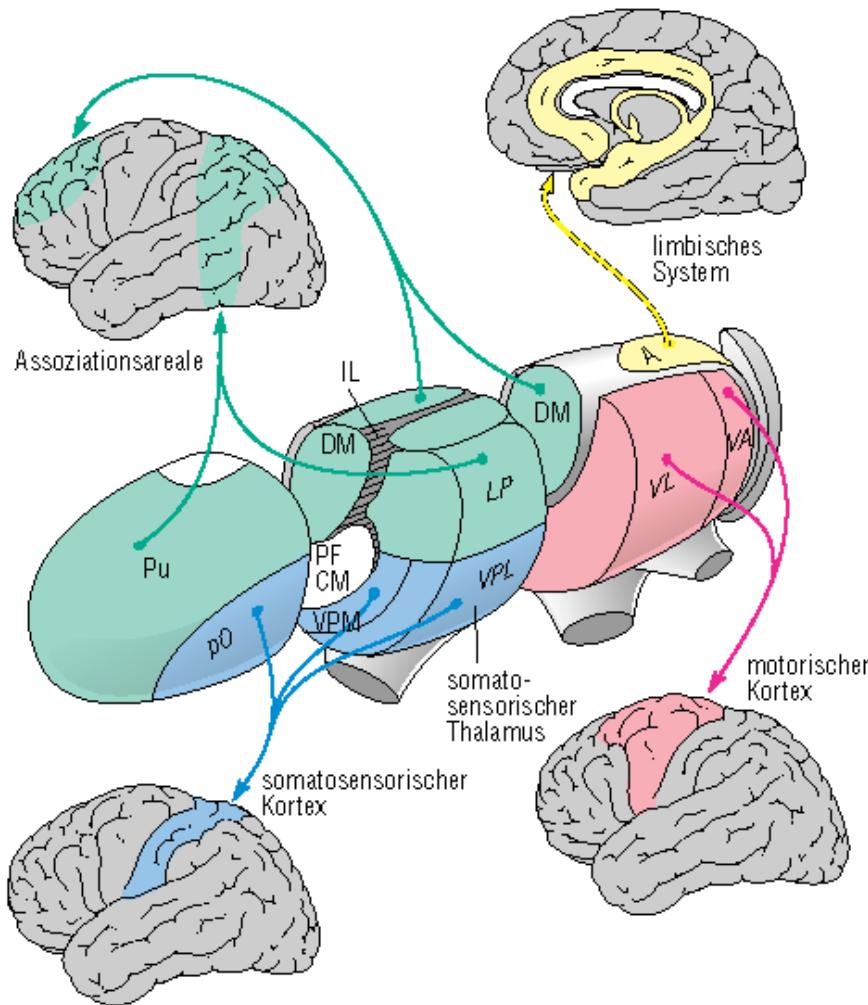
- Die Spiegelneuronen werden als essentiell für Imitationslernen, Empathie und soziale Kognition angesehen.
- Seit einiger Zeit wird eine Dysfunktion des MNS für mentale Störungen, die mit eingeschränkten sozialen Kompetenzen einhergehen (insbesondere Autismus, aber auch andere) in Verbindung gebracht.
- Diese wissenschaftlich recht junge Entdeckung ist zur Zeit Gegenstand aktiver Forschung und Debatte.



Der Thalamus

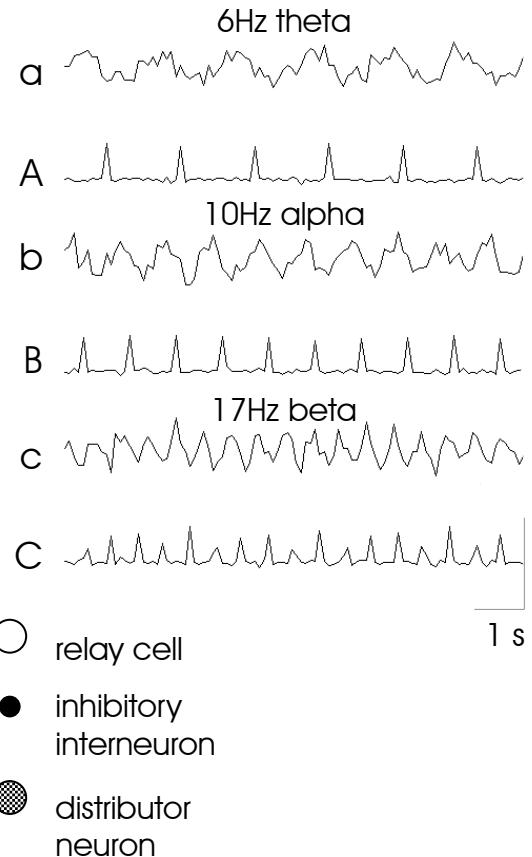
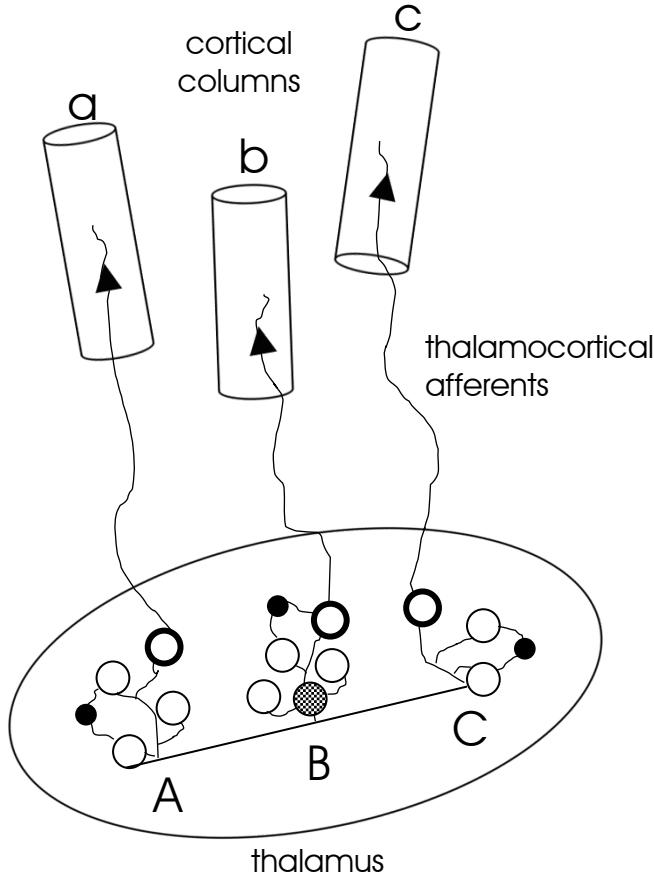
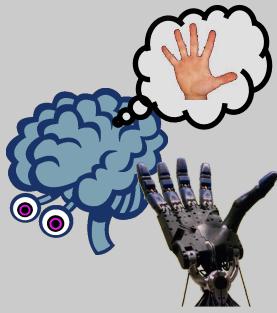


- Ist der Gateway von und zum Kortex.
- Besteht aus verschiedenen **Nuclei**, die jeweils mit bestimmten kortikalen Arealen verbunden sind.
- ‘Relay’ Zellen in den Nuclei projizieren hauptsächlich zu Pyramidenzellen (exitatorisch) in Layer 5 des Kortex.
- Die kortikalen Pyramidenzellen erhalten zusätzlich Input von anderen kortikalen Arealen.
- Es entstehen **kortikale Subnetzwerke**.



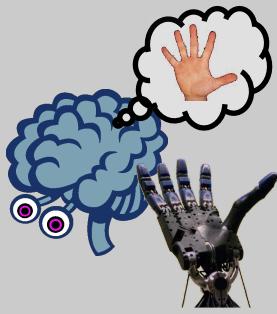
VA	Ventral anterior nucleus
VL	Ventral lateral nucleus
VPL	Ventral posterolateral nucleus
VPM	Ventral posteromedial nucleus
PO	Posterior nucleus

Thalamo-Kortikale Kopplung – zeitliche Kodierung

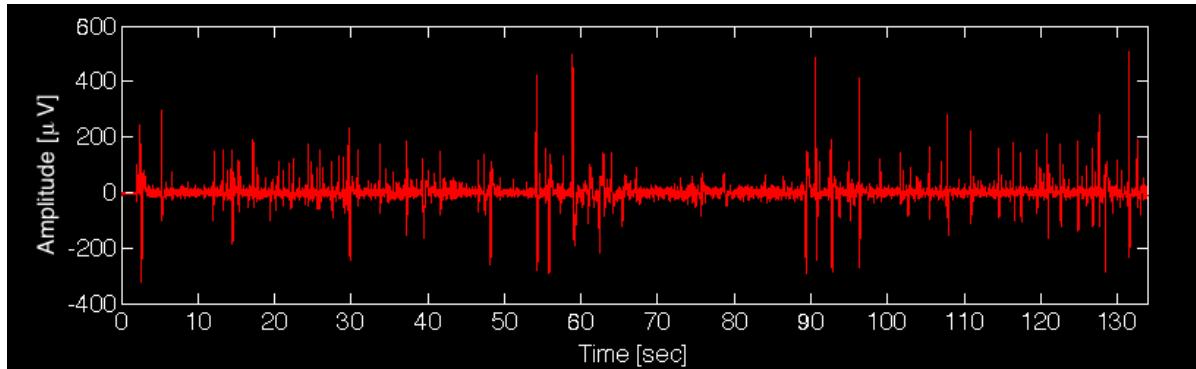


- “Taktgeber” der **kortikalen Subnetzwerke**.
- **Zeitliche** Kodierung.
- Im Vergleich zu Spikes kann von einer **high-level Kodierung** gesprochen werden.
- Die Rhythmen großer Netzwerke oder Zellverbände unterscheiden sich von den Rhythmen einzelner Neuronen.

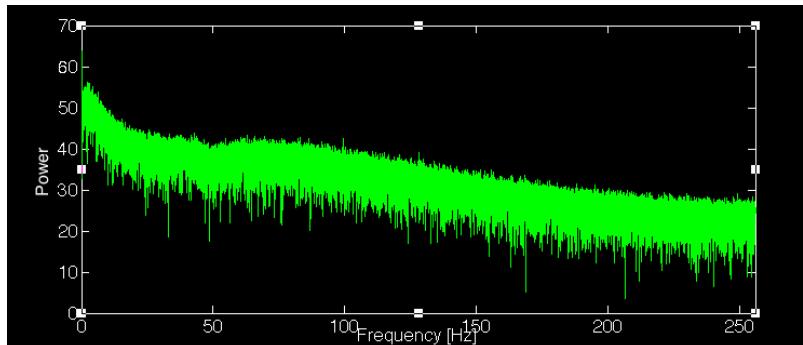
Zeitliche Kodierung eines elektrophysiologischen Signals



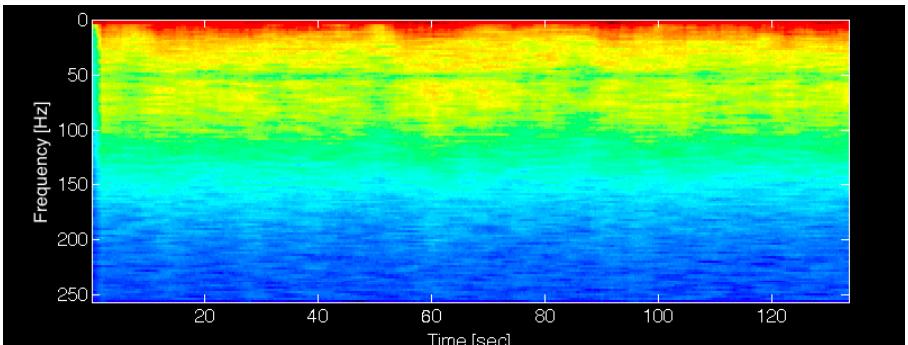
Time-Amplitude



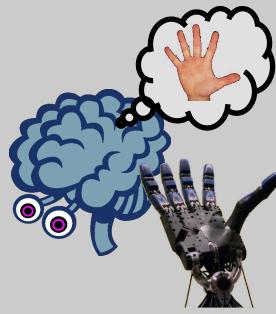
Frequency-Power



Time-Frequency-Power



Beispiel: Der Schlaf-Wach Rhythmus (Circadian cycle)



Awake: low voltage-random, fast



Drowsy: 8 to 12 cps- alpha waves



Stage 1: 3 to 7 cps- theta waves



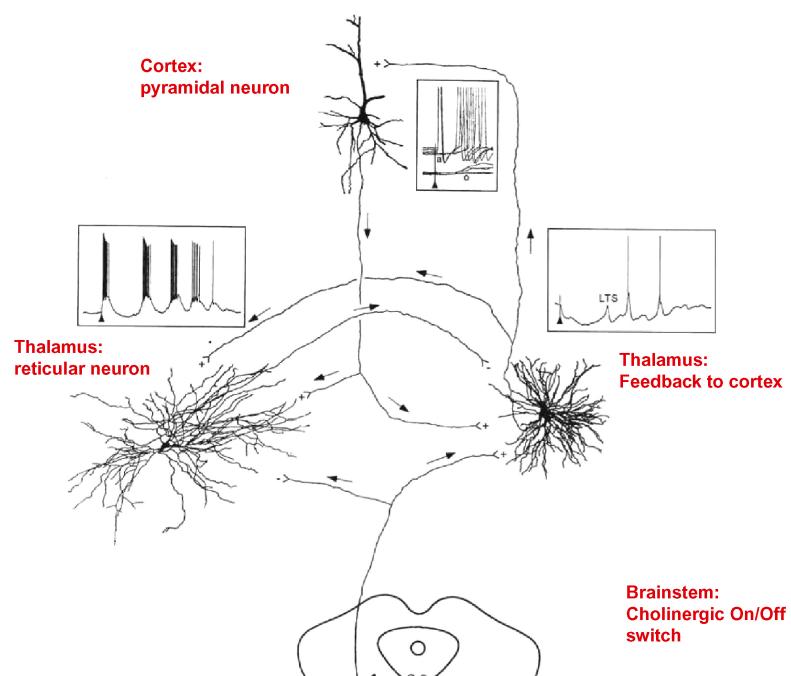
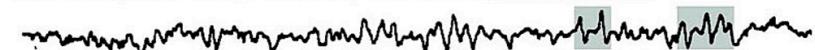
Stage 2: 12 to 14 cps- sleep spindles and K complexes



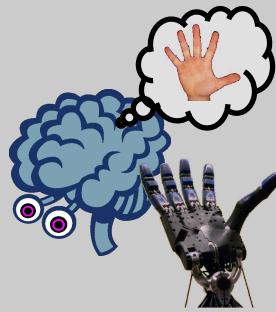
Deep sleep: 1/2 to 2 cps- delta waves>75 μV



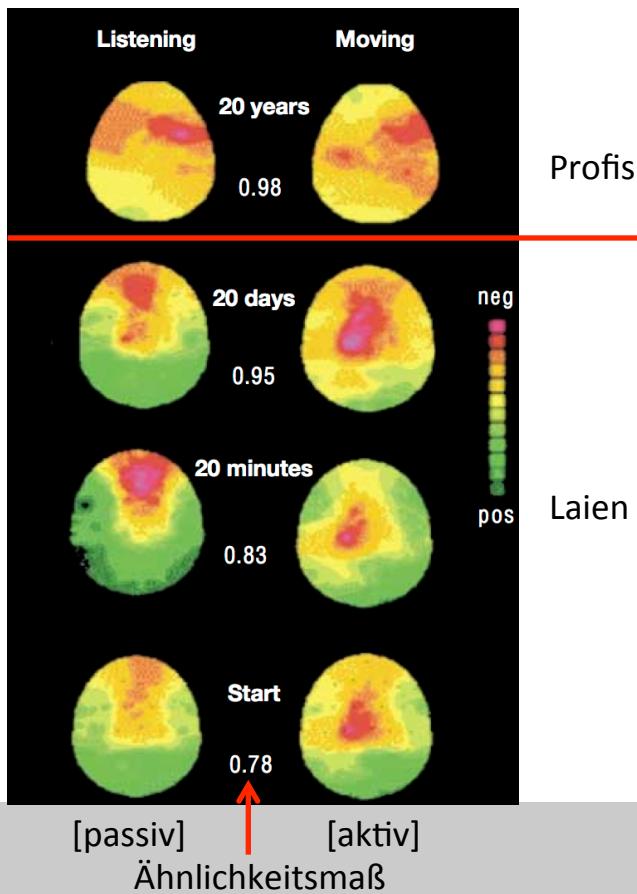
REM sleep: low vltage-random, fast with sawtooth waves



Kortikale Plastizität



- Veränderung kortikaler Aktivitätsmuster durch Lernen
- → Am Besten an einem Beispiel ersichtlich (aus Münte et al., Nature, 2002)



Aufgabe/ Bedingungen:

1. Klavierstück anhören [passiv]
2. Klavierstück auf Klaviertastatur spielen (stumm, kein akustisches Feedback) [aktiv]

Versuchspersonen:

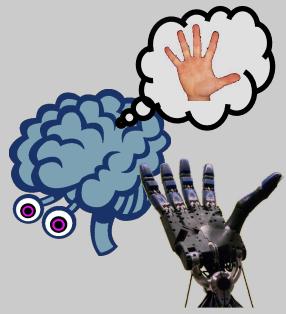
1. Nicht-Musiker ohne Praxis mit einem Instrument.
2. Professionelle Pianisten.

Methode:

- EEG Messungen
- Ähnlichkeitsmaß (Skalarprodukt) für Vergleich der Aktivierung bei Aufgabe 1 und 2.

Ergebnisse:

- Mit fortwährendem Training nähert sich die Aktivierung in der passiven Bedingung derjenigen in der aktiven Bedingung an.
- Bei Profis ist sie nahezu identisch.



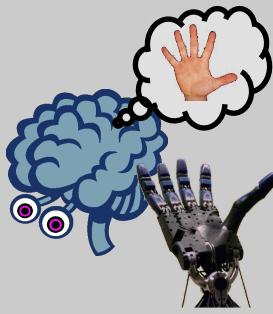
Zusammenfassung Teil I

Kodierung neuronaler Information:

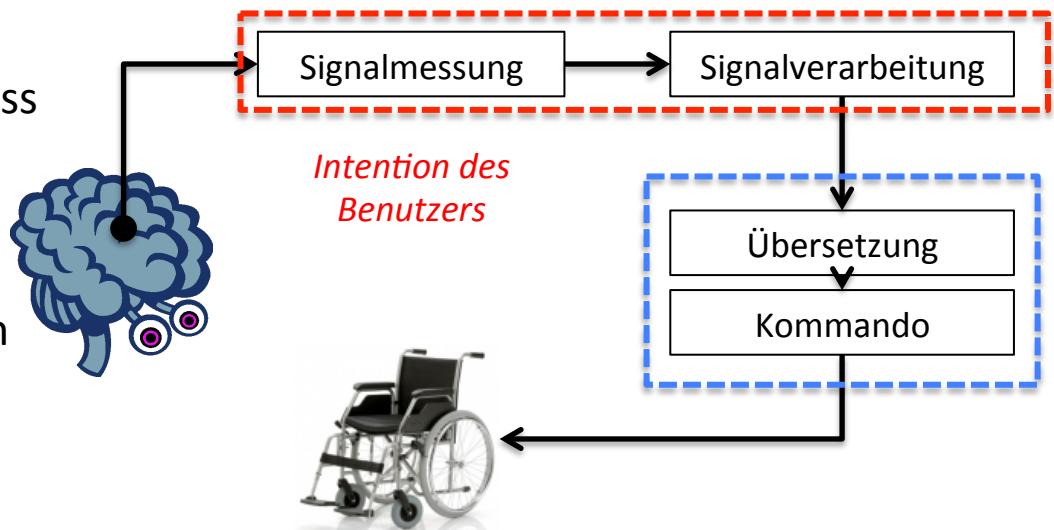
- **Räumlich**
 - Anordnung von Neuronen und Neuronengruppen
→ Zellverbände, Arrays und Maps
 - Hierarchische, bi-direktionale Verschaltung von Neuronengruppen
→ Formung funktionaler Netzwerke
- **Zeitlich**
 - Elektrische Eigenschaften der Neuronen und ihrer Verbindungen
→ Aktionspotentiale, Feurrate, Spikes
 - Taktung des Thalamo-Kortikalen Systems
→ Rhythmus kortikaler und sub-kortikaler Netzwerke

Für beide Kodierungsarten gilt: Je lokaler die Betrachtung, desto niedriger ist das Level der Kodierung (und umgekehrt).

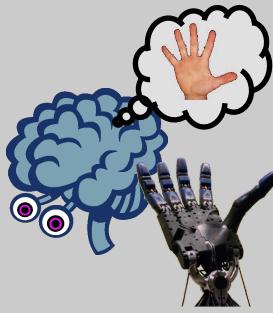
Bezug zu BMI Systemen



- Die räumliche und zeitliche Kodierung des neuronalen Kodes spiegelt sich direkt im gemessenen Signal. (Anzahl Neuronen/-gruppen, Frequenz)
- Die Auflösung der Messung (räumlich und zeitlich) hängt mit der verwendeten Messapparatur zusammen:
 - Größe
 - Position
- Die gewählte Signalverarbeitung muss die Besonderheiten des Messsignals berücksichtigen.
- Auf der Übersetzungsebene ergeben sich durch die Art der Messung unterschiedliche Abstraktionsebenen.

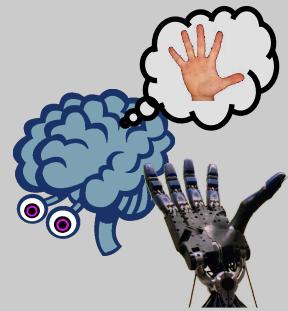


Zusammenhang von neuronalem Code, Auflösung und Übersetzung

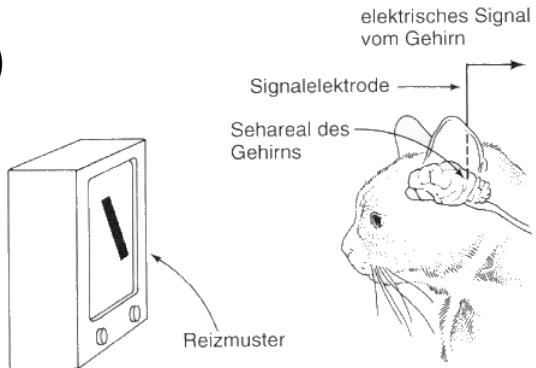


- Je nach Auflösung der Messung kommen 2 grundlegende Übersetzungsstrategien in Frage:
 - Direktes Mapping (meist bei invasiven Messungen)
 - Abstraktes Mapping (meist bei nicht-invasiven Messungen)
- Es gibt auch Varianten, die sich zwischen diesen beiden Extremen bewegen.
- Beispiele:
 - Direkt: „Population Coding“ - Direktes Mapping kleiner Gruppen spezialisierter Neuronen auf z.B. eine bestimmte Bewegungsrichtung oder aber eine spezielle Stimulusorientierung (invasiv, Mikro-Elektrodenarrays)
 - Abstrakt: „P300 Speller“ (nicht-invasiv: EEG)

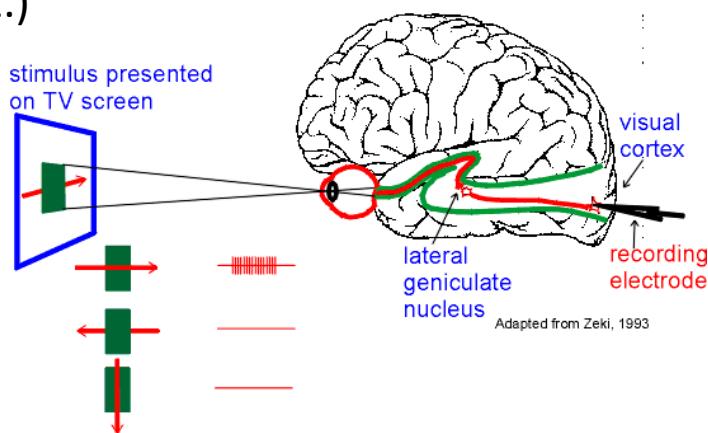
Beispiel: Direktes Mapping



1.)



2.)



Eingabe (Messung)

- Signal einer kleinen Neuronengruppe im primären, visuellen Kortex

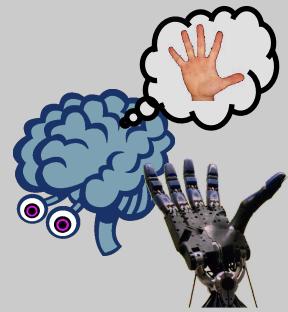
Ausgabe

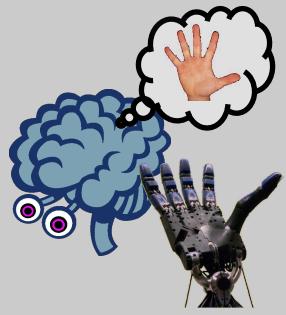
1. Orientierung des Balkens
2. Bewegungsrichtung des Balkens

Nicht detektierbar:

- Farbe, Form, Geschwindigkeit,
- Erst recht nicht: „Inhalt“, z.B. Bild oder nicht Bild

Beispiel: Abstraktes Mapping

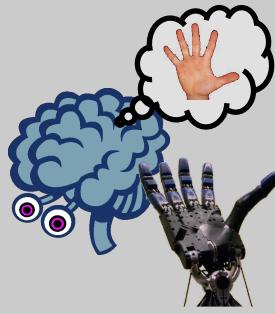




Beispiel: Abstraktes Mapping

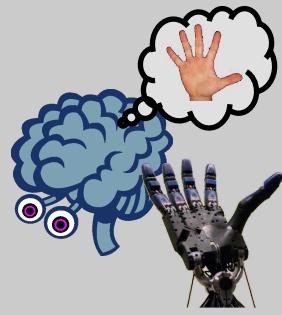
- Das im EEG-messbare P300 Potential wird durch eine spezielle Aufgabe ausgelöst: das Betrachten von Stimuli, die in zufälliger Reihenfolge aufleuchten.
- Dabei bildet ein Stimulus den Zielreiz („Oddball“) und die anderen Stimuli Hintergrundreize. Nur der „Oddball“ löst ein P300 Potential aus.
- Grundlegend ist dabei, dass der Zielreiz für den Nutzer eines Systems relevant ist, z.B. zum Lösen einer Aufgabe.
- Das Mapping von Signal (P300) auf Kommando/System Output liegt vollständig in der Hand des Systementwicklers, d.h. es wird bei der Implementierung des Systems definiert.
- Jedes dem Nutzer des Systems bekannte Mapping ist denkbar.
- Entscheidend ist allein die Verwendung des „Oddball Paradigms“, also des zur Auslösung von P300 Potentialen notwendigen Schemas.

Übersetzung und Abstraktion - Fazit



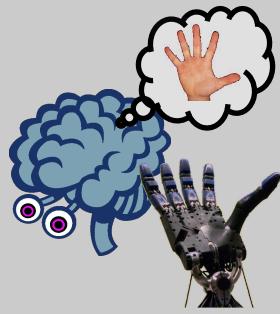
- Ein strikt direktes Mapping erlaubt nur die Übersetzung neuronaler Aktivität in sehr basale Merkmale eines Stimulus (oder Bewegungsparameter).
- Direktes Mapping findet auf einer sehr niedrigen/ frühen Ebene der Informationsverarbeitung statt.
- Abstraktes Mapping bietet praktisch unendlich viele Möglichkeiten, neuronale Aktivierung auf eine spezielle Übersetzung/ Kommando zu mappen.
- Der Zusammenhang zwischen neuronalem Code und Übersetzung ist nur noch indirekt und damit ein Bestandteil des technischen Systems, nicht der eigentlichen Aktivierung.
- Abstraktes Mapping bewegt sich auf einer hohen kognitiven Ebene und verlangt die Kenntnis spezifischer, aufgabengebundener mentaler Repräsentationen.
- (Relativ) direktes und abstraktes Mapping sind aus technischer Sicht (Implementierungs-Ebene) kombinierbar.

Teil II



Verfahren zur Messung von Hirnaktivität

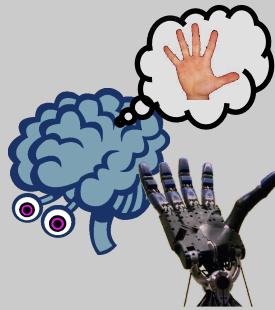
Grundsätzliches



Unterscheidungskriterien

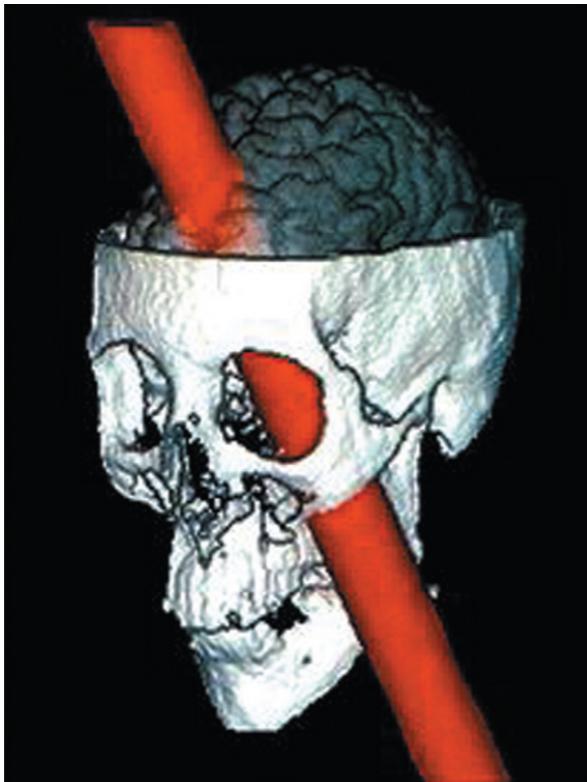
- Signalart
 1. Messung **elektro-magnetischer** Prozesse
 2. Messung **metabolischer** Prozesse (Bildgebende Verfahren)
- Einsatz
 1. **Invasiv** (Operative Öffnung des Schädels, Einsatz von Messtechnik innerhalb des Gehirns)
 2. **Nicht-invasiv** (Externe Messung ohne operativen Eingriff)
- Experimentelles Protokoll:
 1. Ereignis/ Stimulus-korrelierte Signale (erfordern einen externen Stimulus)
 2. Selbst-induzierte Signale (z.B. Mentale Simulation)

Historisch



"Thus in the famous case of Phineas Gage --- a railway foreman who while setting an explosive charge in 1848 had a two-foot tamping iron blown through his frontal lobes when the charge backfired --- while there was preservation of Gage's intelligence as well as his ability to move and talk and see, there were other, profound changes in him. He became reckless and improvident, impulsive, profane; he could no longer plan or think of the future; and for those who had known him before, "he was no longer Gage." He had lost himself, the most central part of his being, and (as is the case with all patients with severe damage to the frontal lobes), he did not know it".

-- Oliver Sacks, in Goldberg 2001



Messverfahren – Übersicht

