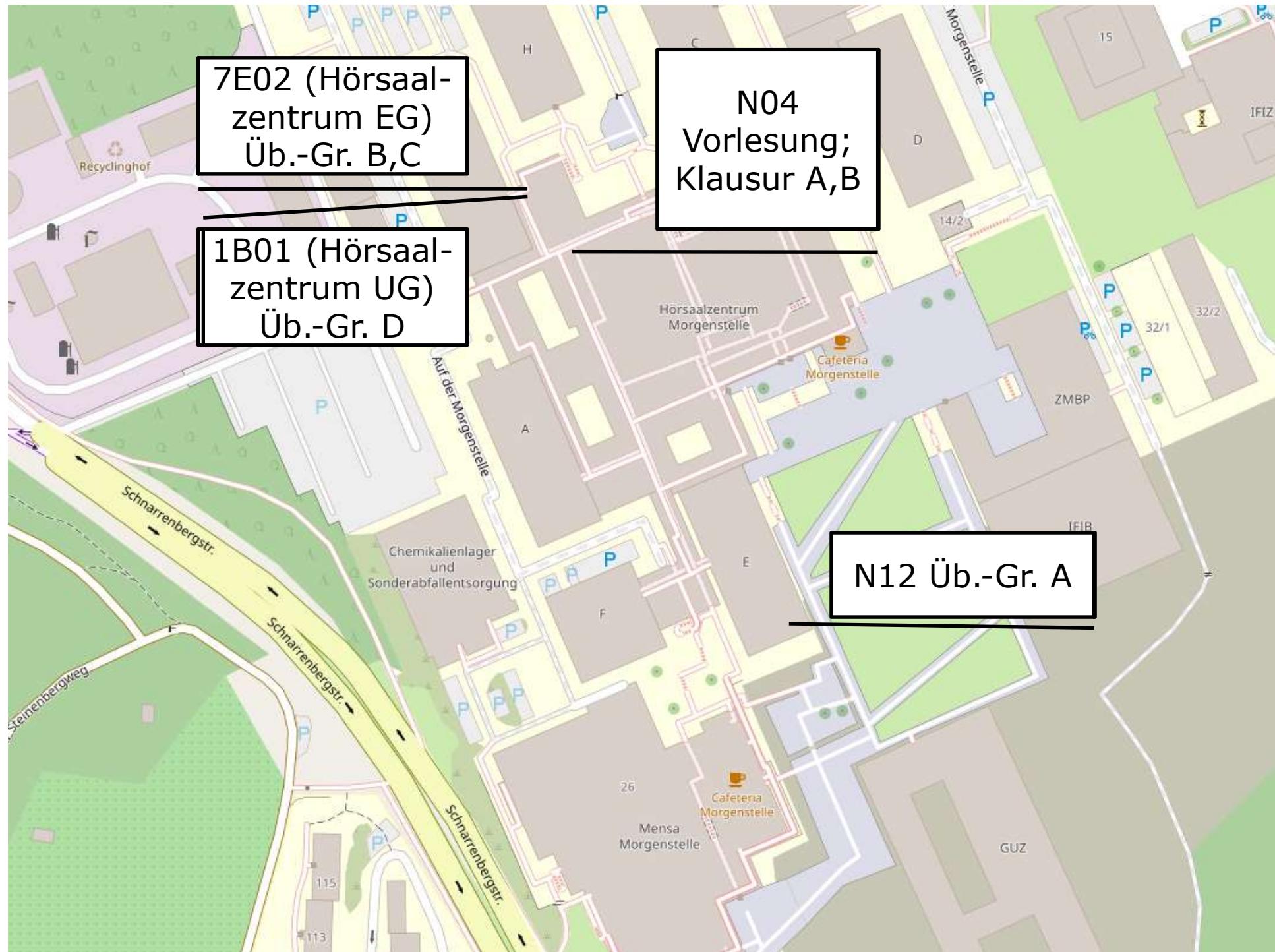


Neuro- und Sinnesphysiologie für Kognitonswissenschaftler

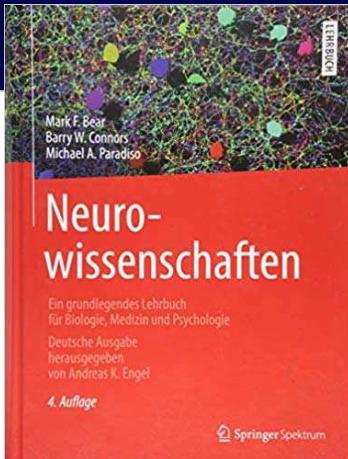
I Einleitung: Kleine Ideen- geschichte der Neurobiologie

*H. Mallot, Institut für Neurobiologie, Fachbereich Biologie,
Universität Tübingen, WS 2021/22*

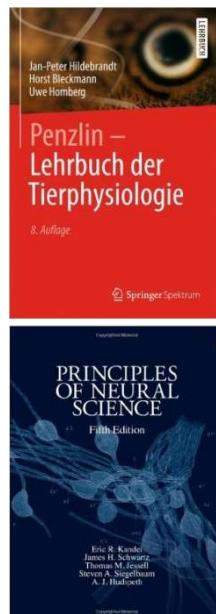




Literatur



MF Bear, BW Connors, MA Paradiso.
Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie.
Spektrum Verlag, 4. Auflage 2018



Hildebrandt J.-P., Bleckmann H., Homberg U.: *Penzlin – Lehrbuch der Tierphysiologie*. Springer Spektrum, 8. Auflage 2015
Klassisches Lehrbuch, das auch die vegetative Physiologie umfasst. Gute Darstellung auch der kognitiven Aspekte. Vergleichende Angaben zu anderen Tiergruppen.

Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell T.M., Siegelbaum, S.A., Hudspeth A.J. *Principles of Neural Science*, McGraw-Hill, 5. Auflage, 2012

**Umfassendes Lehrbuch aller Aspekte der Neurowissenschaft
Deutsche Ausgabe ist die Übersetzung der 3. Auflage**



Lernstrategie

1. Reservieren Sie in Ihrem Wochenplan insgesamt 4 – 5 Stunden zum Nacharbeiten der Vorlesung bzw. zum Vorbereiten des Seminars (6LP = 150 Arbeitsstunden pro Semester).
2. Lesen Sie die jeweils auf der letzten Folie angegebene Literatur.
3. Legen Sie ein Heft an, in dem Sie die wichtigsten Punkte der Vorlesung mit eigenen Worten aufschreiben und wichtige Zeichnungen von Hand einfügen.
4. Nutzen Sie Wikipedia und Utube
5. Zur Vorbereitung der Klausur gehen Sie die Zusammenfassungen zu jeder Vorlesungsstunde durch und überlegen, ob Sie die Punkte verstanden haben. Wenn Sie Nachbearbeitungszeit in die Ferien verschieben wollen, können Sie den zweiten Klausurtermin am Ferienende wählen.
6. Scheuen Sie sich nicht, in der Vorlesung (im Seminar sowieso) Fragen zu stellen.



Kognitionswissenschaft

"I would go further and hazard the prediction that for some time to come the most valuable work in artificial intelligence will be that which attempts to express, in the form of computer programs, abstract theories of our various cognitive abilities..."

"These 'cognitive sciences' may be roughly grouped under four main headings:

(1) mathematical—including formal logic, the theory of programs and programming languages, and the mathematical theory of classification and of complex data structures,

(2) linguistic—including semantics, syntax, phonology, and phonetics,

(3) psychological—including the psychology of vision, hearing, and touch, and

(4) physiological—including sensory physiology and the detailed study of the various organs of the brain.

"Perhaps 'cognitive science' in the singular would be preferable to the plural form, in view of the ultimate impossibility of viewing any of these subjects in isolation..."



H. Christopher Longuet-Higgins, 1923-2004

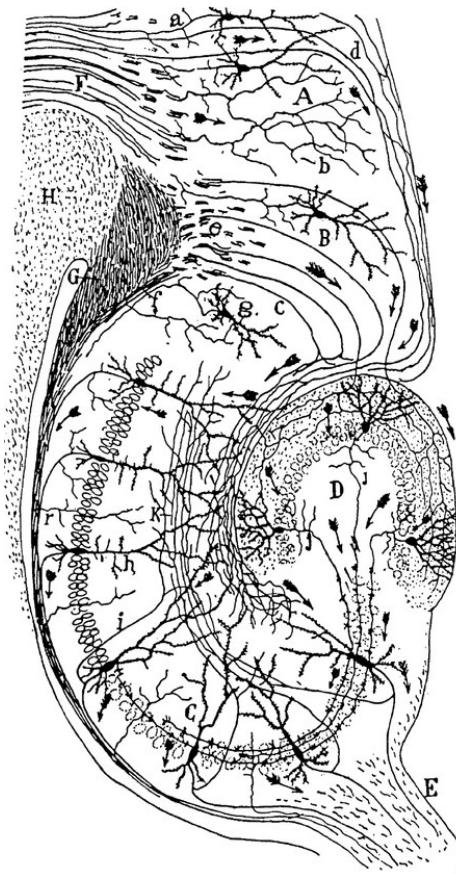
Longuet-Higgins,
Comments on the
lighthill report
(1973).

Nachgedruckt in:
Ders. "Mental
Processes",
Cambridge MA:
MIT Press 1987

Acht zentrale Ideen und Befunde der Neurowissenschaft

- I. Nervensysteme bestehen aus Nervenzellen
- II. Nervenzellen sind elektrisch erregbar
- III. Sinnesorgane wandeln physikalische Reize in neuronale Erregungen
- IV. Sensorische Neurone codieren Umweltinformationen
- V. Verhalten wird von der neuronalen Aktivität ausgelöst und gesteuert
- VI. Lernen beruht auf neuronaler Plastizität
- VII. Das Gehirn ist arbeitsteilig organisiert
- VIII. Das Gehirn ist ein Produkt der Evolution

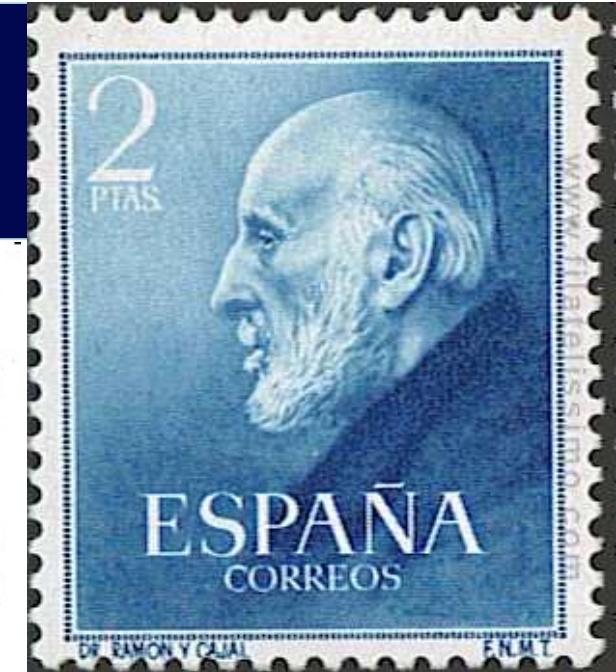
I—Nervensysteme bestehen aus Nervenzellen



Schnitt durch den Hippocampus einer Ratte

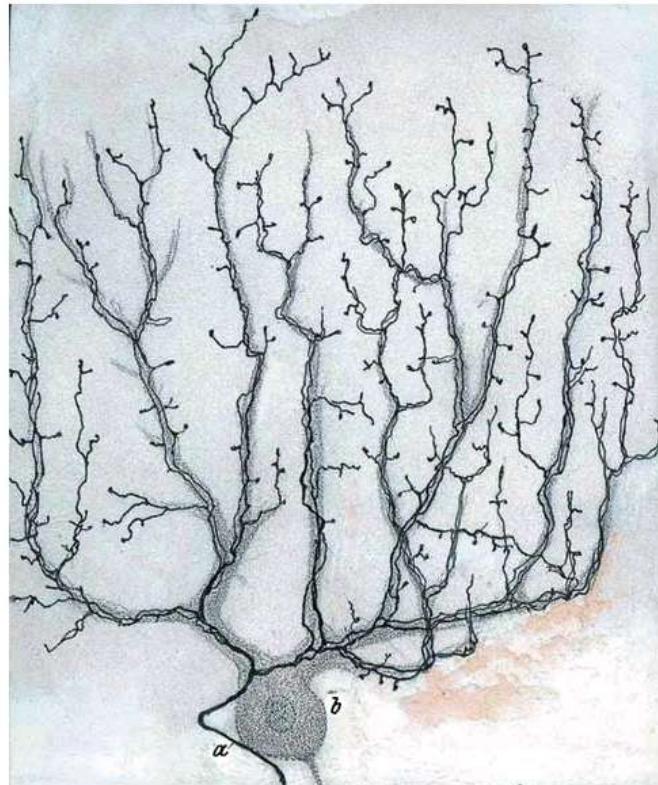


Purkinje-Zelle aus dem Kleinhirn

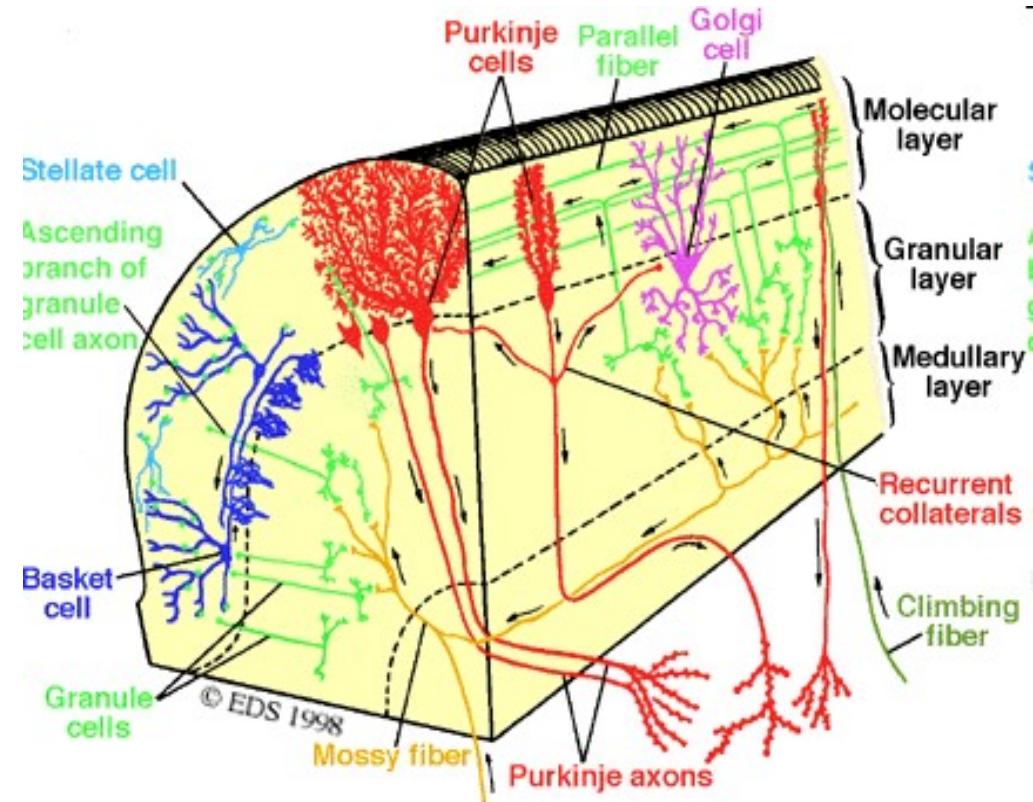


Santiago Ramón y Cajal
(1852-1934, Nobelpreis 1906) wies durch genaue mikroskopische Analysen (Golgi-Färbung) nach, dass das Nervensystem nicht synzytial (aus verschmolzenen Zellen) sondern zellulär (aus Einzelzellen) aufgebaut ist.

I—Nervensysteme bestehen aus Nervenzellen Schaltkreise



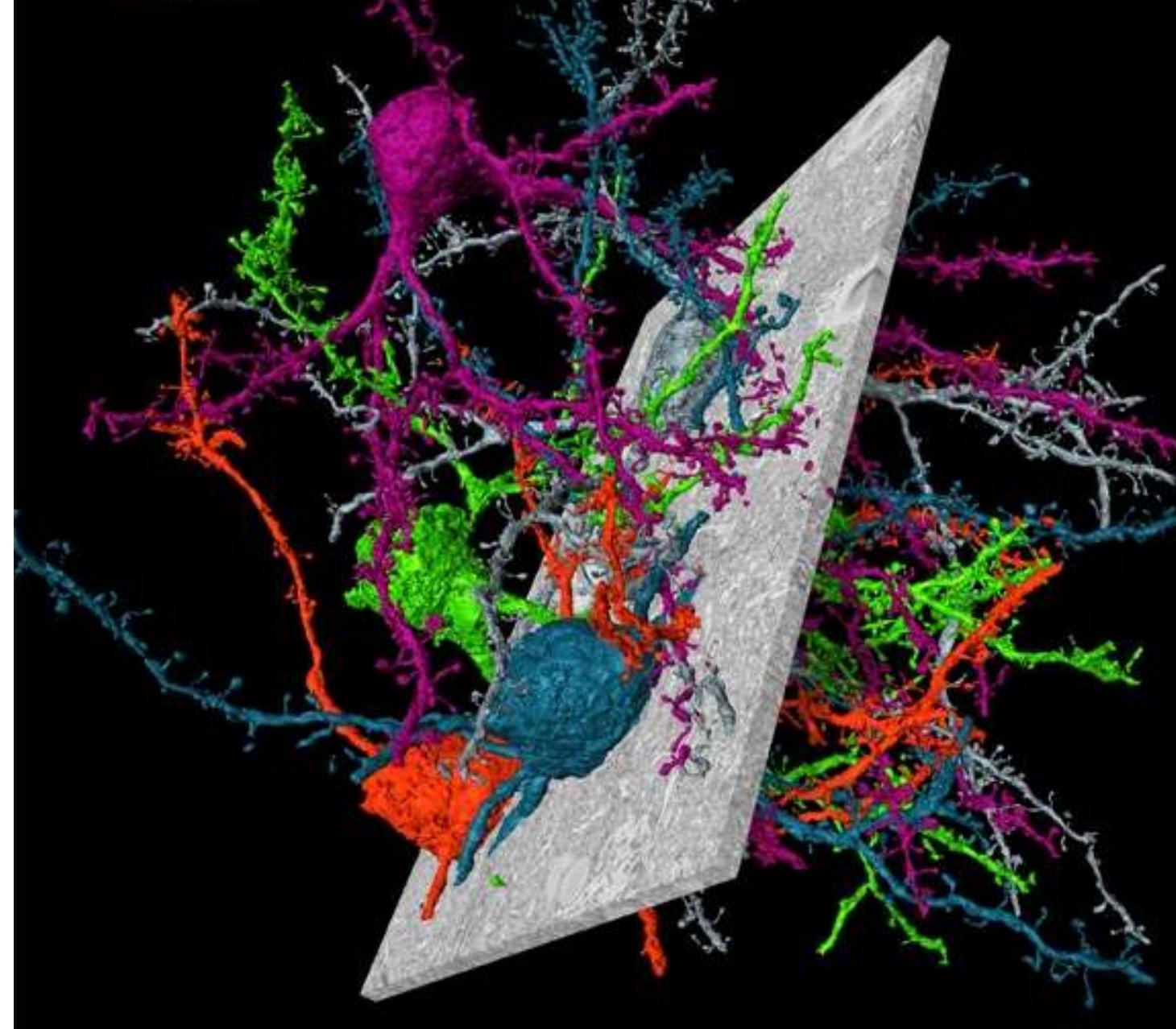
Purkinjezelle und Kletterfaser aus dem menschlichen Cerebellum. Aus: Sotelo C., (2003) "Viewing the brain through the master hand of Ramon y Cajal." *Nature Reviews Neuroscience* 4:71-77



Aktuelles Modell der Schaltkreise im Kleinhirn.
Die hohe geometrische Ordnung des Kleinhirns
hat zu zahlreichen Modellbildungen Anlass
gegeben.
(E. De Schutter, <http://www.tnb.ua.ac.be/models/>)

Number 6
September 23, 2015

www.cell.com



Rekonstruierte Neurone aus dem somatosensorischen "Barrel"-Cortex der Ratte, zusammen mit einem elektronenmikroskopischen Schnitt. Die Rekonstruktion wird aus Serien (Stapeln) solcher Schnitte berechnet.

Titelbild der Zeitschrift Neuron, September 2015.
(M. Helmstaedter, MPI Martinsried)

S 2021/22

II—Nervenzellen sind elektrisch erregbar

- Luigi Galvani (1737-98): elektrische Reize lösen beim Frosch Muskelzuckungen aus. Der Frosch erzeugt selbst eine "tierische Elektrizität".
- Emil DuBois-Reymond (1818-96): Begründer der Elektrophysiologie
- Durch technische Verbesserungen der Messgeräte und Stimulatoren konnte er die Wirkungen elektrischer Ströme insbesondere auf die Muskulatur belegen.
- Als Träger der Ströme vermutete er "elektrische Moleküle", die aus heutiger Sicht den Ionen (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , etc.) entsprechen.

Du Bois-Reymond, Emil. (1848)
Untersuchungen über thierische Elektricität.
Erster Band. Berlin: Georg Reimer

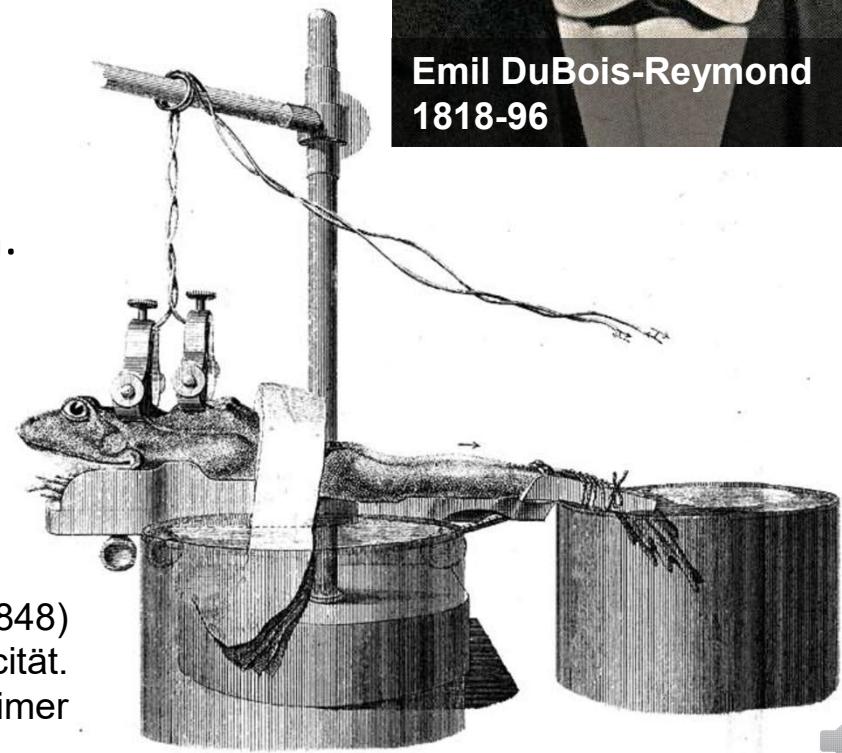
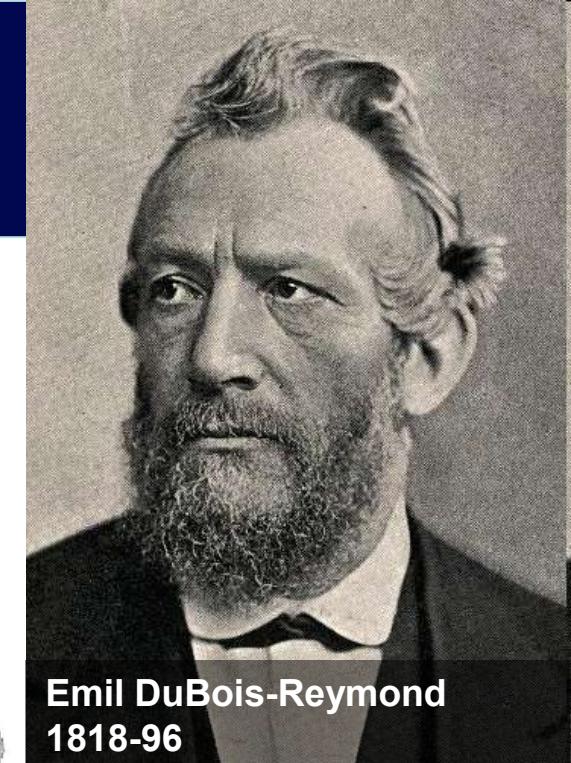
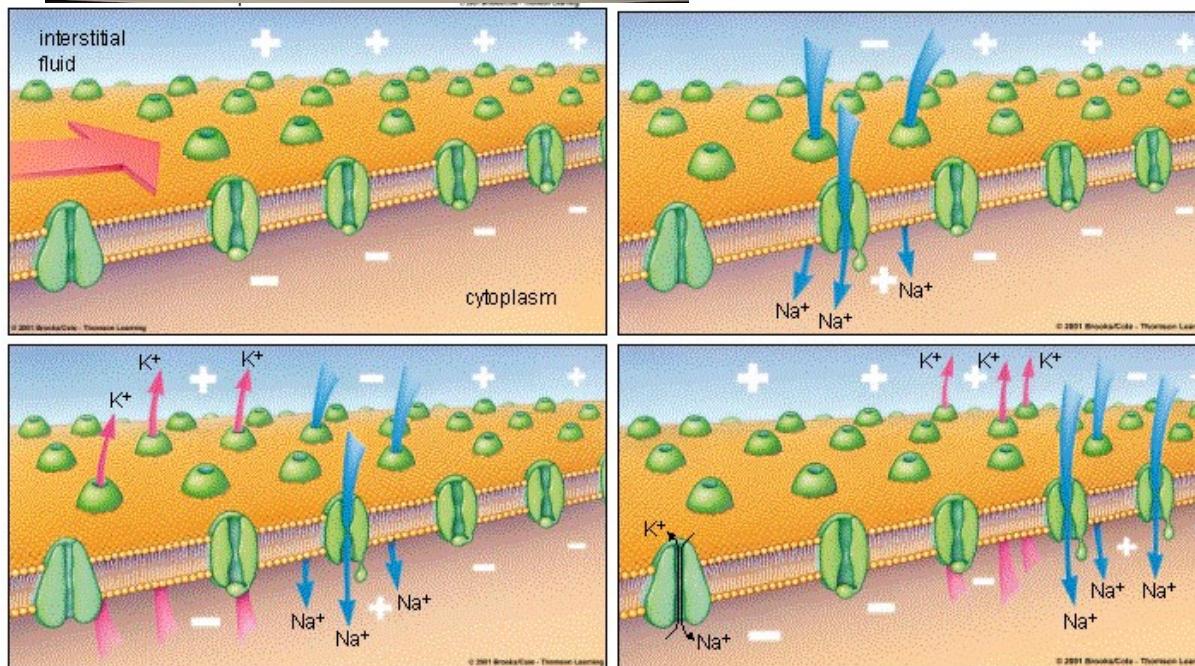
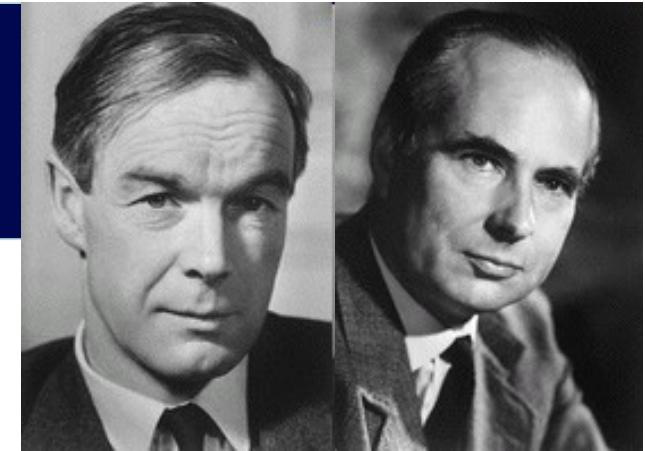
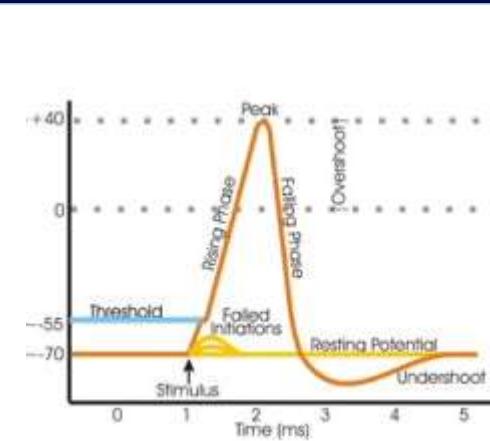


Fig. 24.

II—Nervenzellen sind elektrisch erregbar

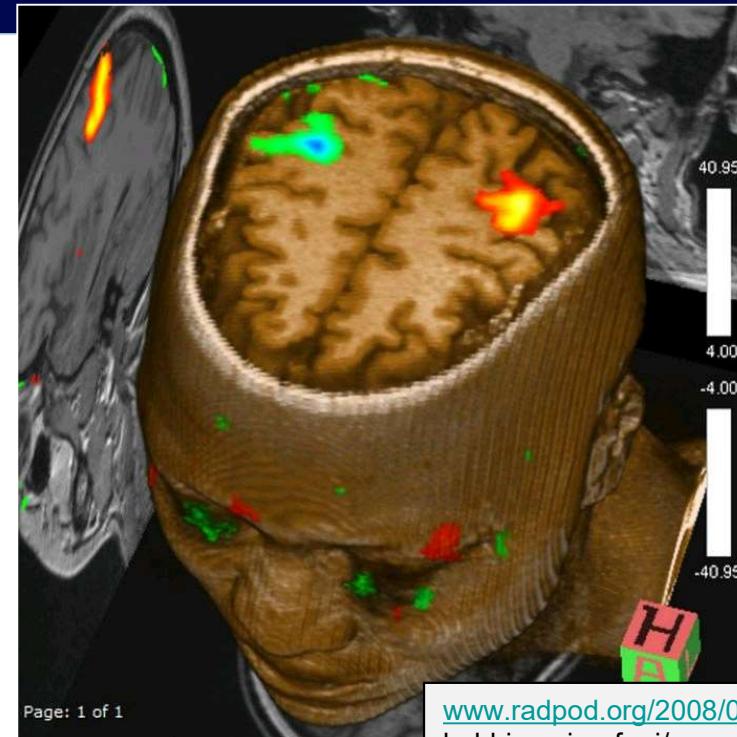
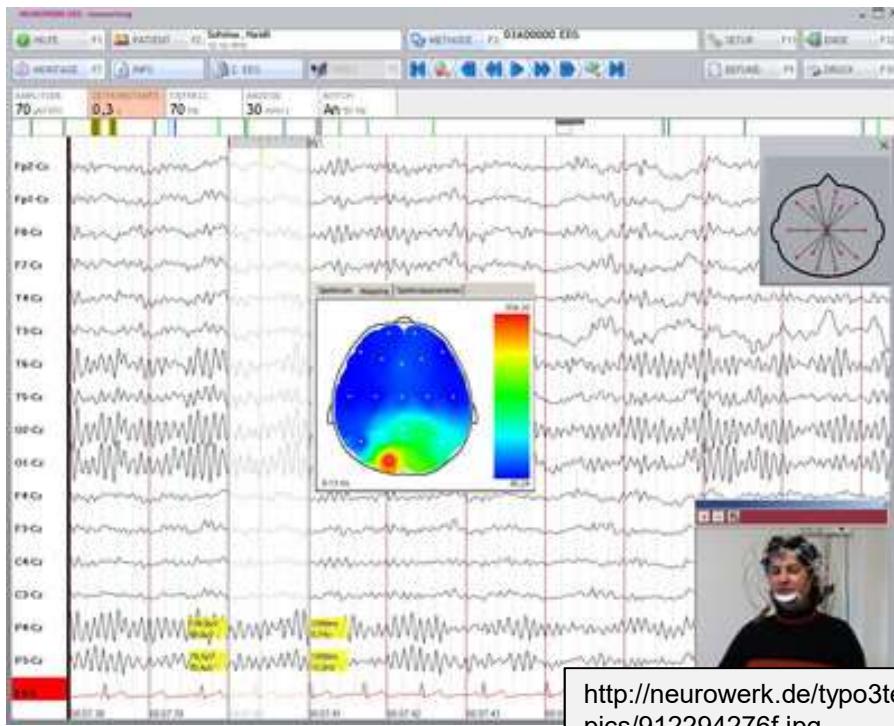


In Arbeiten am Riesen-axon des Kalmars *Loligo pealei* führten Hodgkin und Huxley das **Aktionspotential**, das universelle Erregungssereignis von Nervenzellen, auf die elektrochemischen Eigen- schaften von Membranen und Membrankanälen zurück

II—Nervenzellen sind elektrisch erregbar

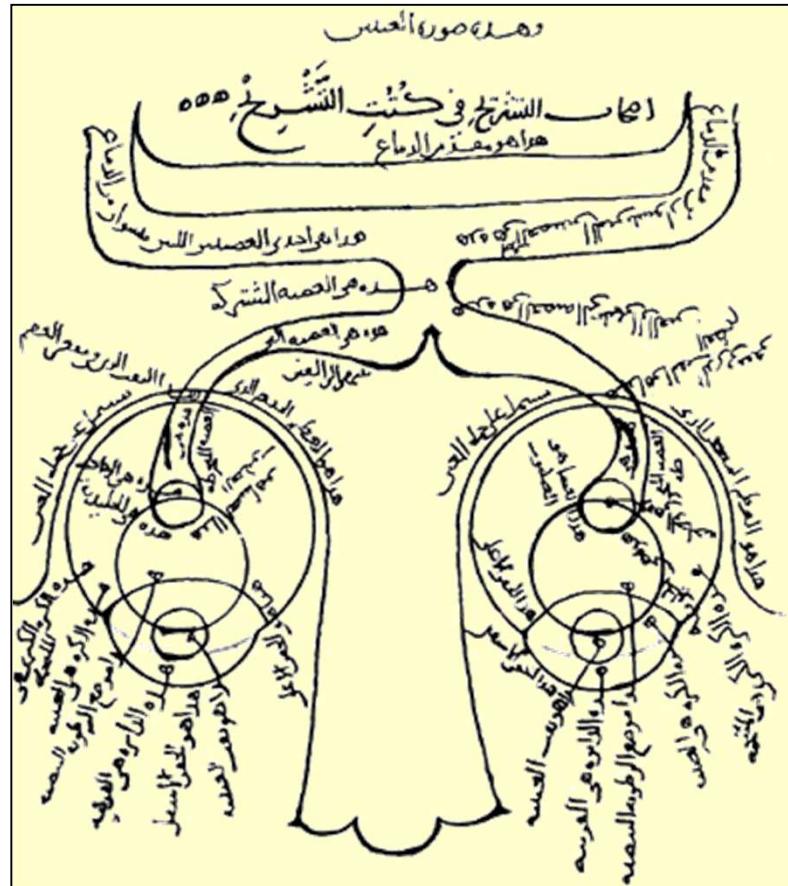
Brainimaging

- funktionelles Magnetresonanzimaging (fMRI) zeigt lokal erhöhte O₂-Sättigung des Blutes nach neuronaler Erregung ("BOLD"-Effekt). Die Zeitauflösung ist niedrig, Ortsauflösung hoch.



- Electroenzephalogramm (EEG) zeigt resultierende Potentiale auf der Kopfhaut. Zeitauflösung ist hoch, Ortsauflösung niedrig.

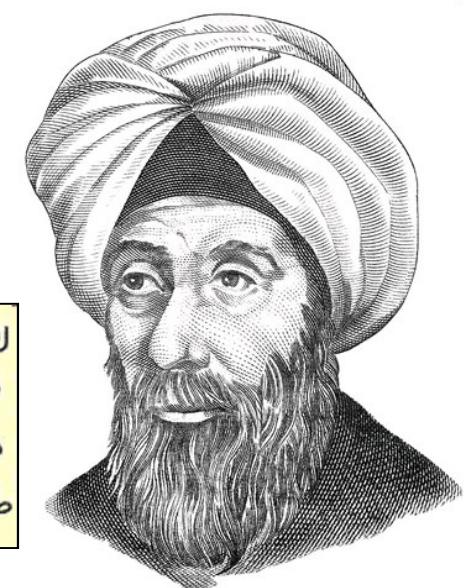
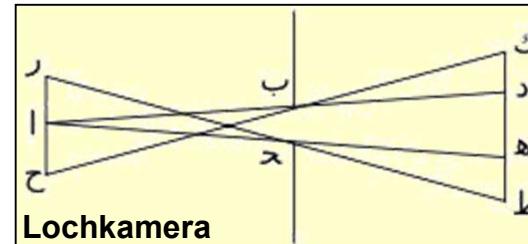
III—Sinnesorgane wandeln physikalische Reize in neuronale Erregungen



Augen, Sehnerv, Chiasma opticum und optischer Trakt. Aus *Book of Optics* (1011-1021)

(Vgl. Howard, Ian P. (1996), "Alhazen's neglected discoveries of visual phenomena", *Perception* 25: 1203–1217,

Alhazen (965-1035)
(Abbildung nach einer irakischen Banknote)



Visuelle Wahrnehmung erfolgt nicht durch Aussenden eines Strahles vom Auge, sondern durch Licht, das vom Objekt ausgeht, und zwar nach dem Prinzip der Lochkamera.

Zwei Probleme

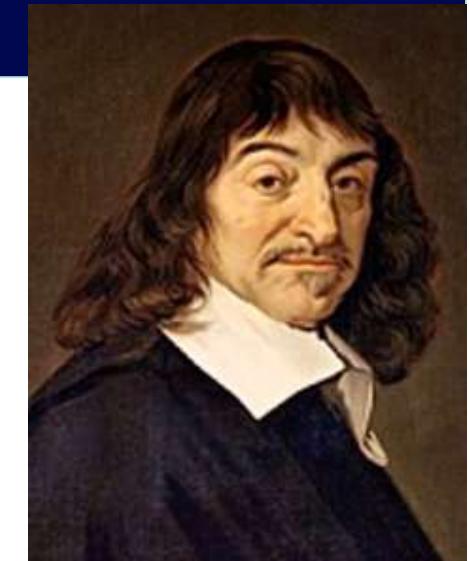
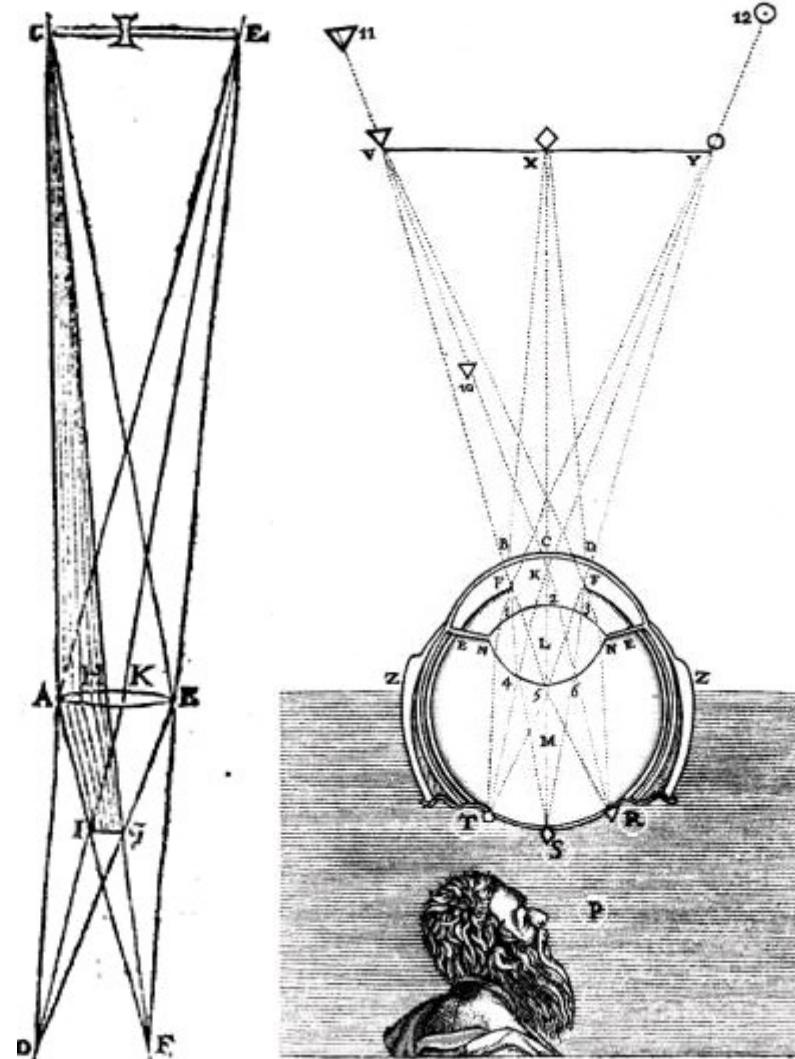
- Warum trifft nur Licht von einem Objektpunkt auf einen Netzhautpunkt?
- Das entstehende Bild ist invertiert. Wie wird es aufgerichtet?

III—Sinnesorgane wandeln physikalische Reize in neuronale Erregungen



Johannes Kepler
(1571-1630)

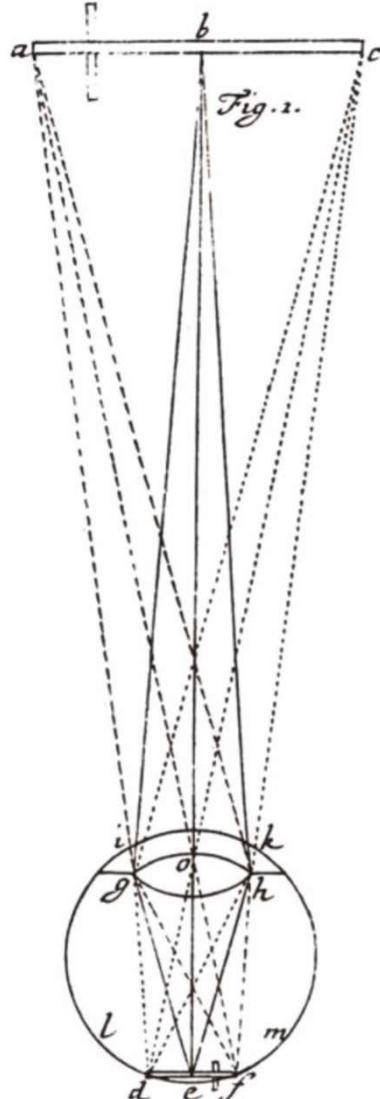
Kepler untersucht den Strahlengang an Linsen und wendet seine Ergebnisse auf das Auge an. Abb. aus: *Dioptrice*, 1611.



Rene Descartes
(1596-1650)

Die berühmteste Abbildung zum Strahlengang im Auge stammt von Descartes (*La Dioptrique* 1637)

III—Sinnesorgane wandeln physikalische Reize in neuronale Erregungen



How then comes it to pass that the Eye sees the Object Erect?

...

I say, Erect and Inverted are only Terms of Relation to Up and Down, or Farther from and Nigher to the Centre of the Earth, in parts of the same thing.

...

The Image of an Erect Object being Represented on the Fund of the Eye Inverted, and yet the sensitive Faculty judging the Object Erect; it follows that when the Image of an Erect Object is painted on the Fund of the Eye Erect, the sense Judges the Object Inverted.



William Molyneux
(1656-1698)

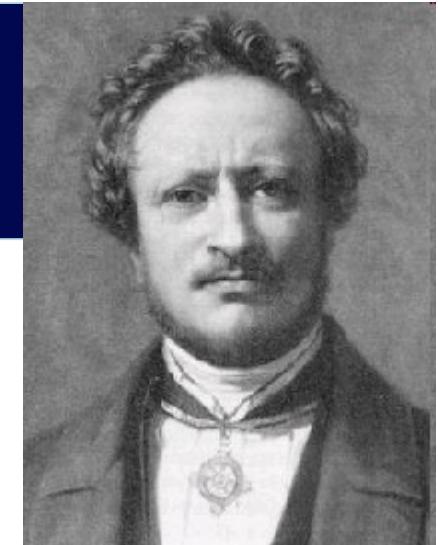
Molyneux W, 1692 Dioptrica Nova. A Treatise of Dioptricks in two Parts (London: Tooke). Zitiert nach Wade NJ, Gregory RL, Perception 35:1579-1582, 2006.

IV—Sensorische Neurone kodieren Umweltinformation

"Wir empfinden nicht das Messer, das uns Schmerz verursacht, sondern den Zustand unserer Nerven schmerhaft; die vielleicht mechanische Oscillation des Lichtes ist an sich keine Lichtempfindung; auch wenn sie zum Bewusstseyn kommen könnte, würde sie das Bewusstseyn einer Oscillation sein: erst dass sie auf den Sehnerven als den Vermittler zwischen der Ursache und dem Bewusstseyn wirkt, wird sie als leuchtend empfunden".

J.P. Müller, (1837) *Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen. 1. Band, 3. Aufl.*, Coblenz 1837, S. 780.

Dies ist das sog. **Gesetz der spezifischen Sinnesenergien**: Nicht der äußere Reiz oder die Art der neuronalen Erregung bestimmt die Qualität der Wahrnehmung, sondern die Eigenart oder Spezifität des gereizten Sinnesorgans.



Johannes P. Müller,
1801-1858

H A N D B U C H
der
PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN
für Vorlesungen.
Von

Dr. Johannes Müller,
Ordentl. öffentl. Professor der Anatomie und Physiologie an der Königl. Friedrich-Wilhelms Universität und an der Königl. medizinisch-chirurgischen Militär-Akademie in Berlin. Director des Königl. anatom. Museums und anatom. Theaters, correspondierendes Mitglied der Kaiserl. Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg, Mitglied der Kaiserl. Leopold. Carol. Academie der Naturforscher, des Vereins für Heilkunde in Preussen, der medizinisch-chirurgischen Gesellschaft zu Berlin, der schwedischen Gesellschaft der Aerzte zu Stockholm, der Gesellschaften für Natur- und Heilkunde zu Heidelberg, zu Erlangen, zu Münster.

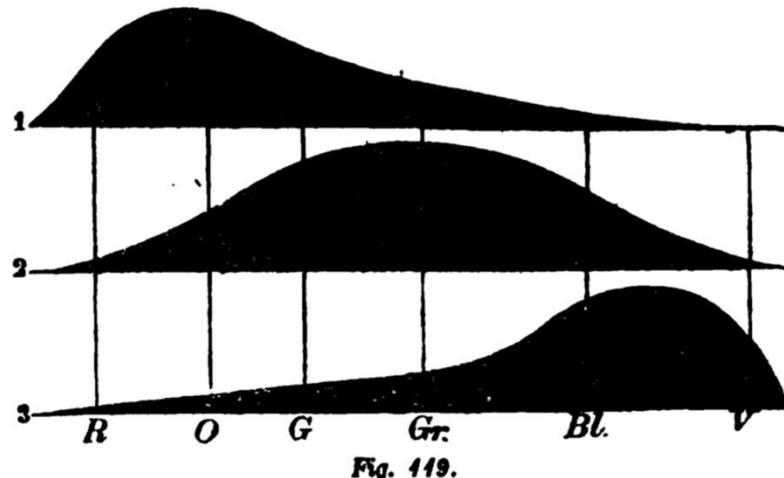
Ersten Bandes erste Abtheilung.

Mit Königlich Württembergischen Privilegien.

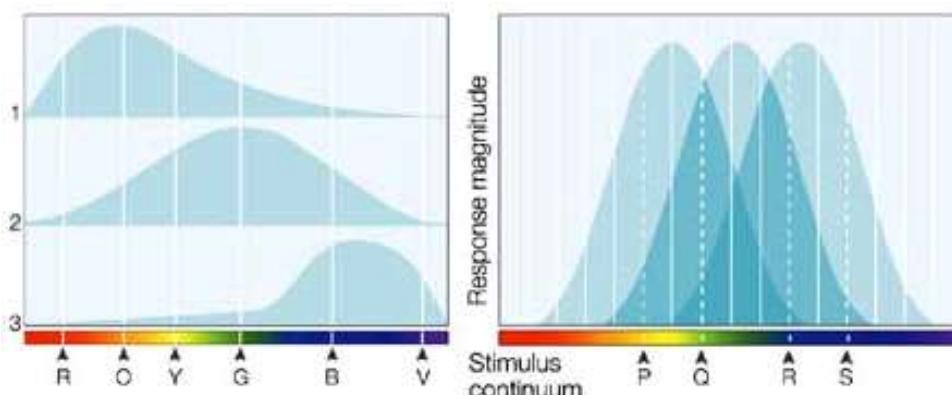
C o b l e n z ,
Verlag von J. Hölscher.
1855.



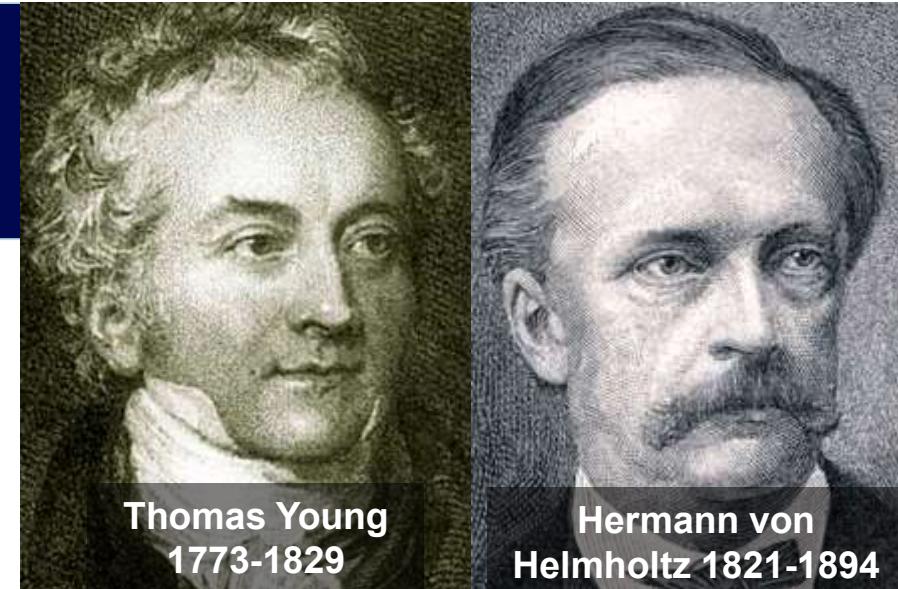
IV – Sensorische Neurone kodieren Umweltinformation



Helmholtz, *Handbuch der Physiologischen Optik*. Leipzig: Voss, 1867



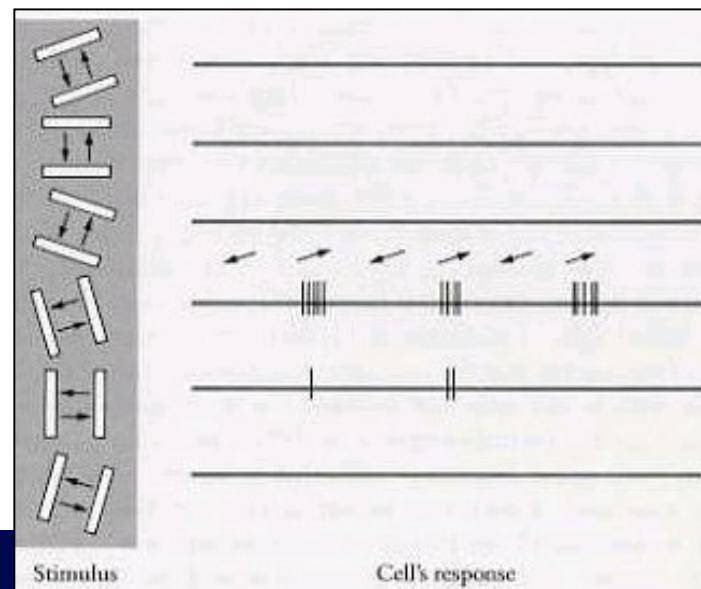
Nicolelis, *Nat. Rev. Neurosci.* 2003



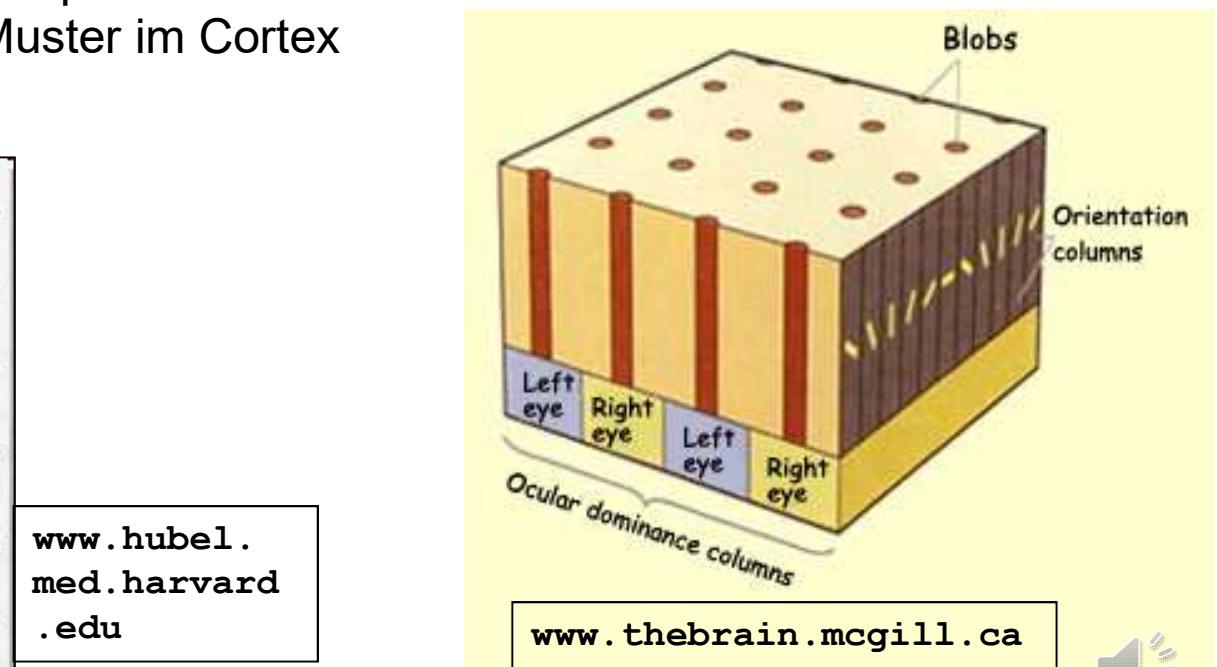
- Die Young-Helmholtz-Theorie des Farbensehens besagt, dass das Auge **drei Typen von Photorezeptoren** enthält, mit Empfindlichkeitsmaxima im roten, grünen und blauen Bereich.
- Erregt ein Lichtreiz überwiegend den Grünrezeptor, wird die Farbe Grün wahrgenommen, u.s.w.
- Die Wahrnehmung wird also nicht von einzelnen Mechanismen (Neuronen), sondern von Populationen bestimmt (**Populationskodierung**).

IV—Sensorische Neurone kodieren Umweltinformation

- Die Spezifität neuronaler Erregung wird durch das **rezeptive Feld** beschrieben.
 - Hubel und Wiesel zeigten, dass Neurone im visuellen Cortex auf kleine Bildelemente, insb. **orientierte Kanten** abgestimmt sind.
 - Neurone mit bestimmten rezeptiven Feldern formen ein regelmäßiges Muster im Cortex (sog. **Hyperkolumnen**).



www.hubel.med.harvard.edu



der Neurobiologie H. Mallot, Inst. Neurobiologie, WS 2021/22

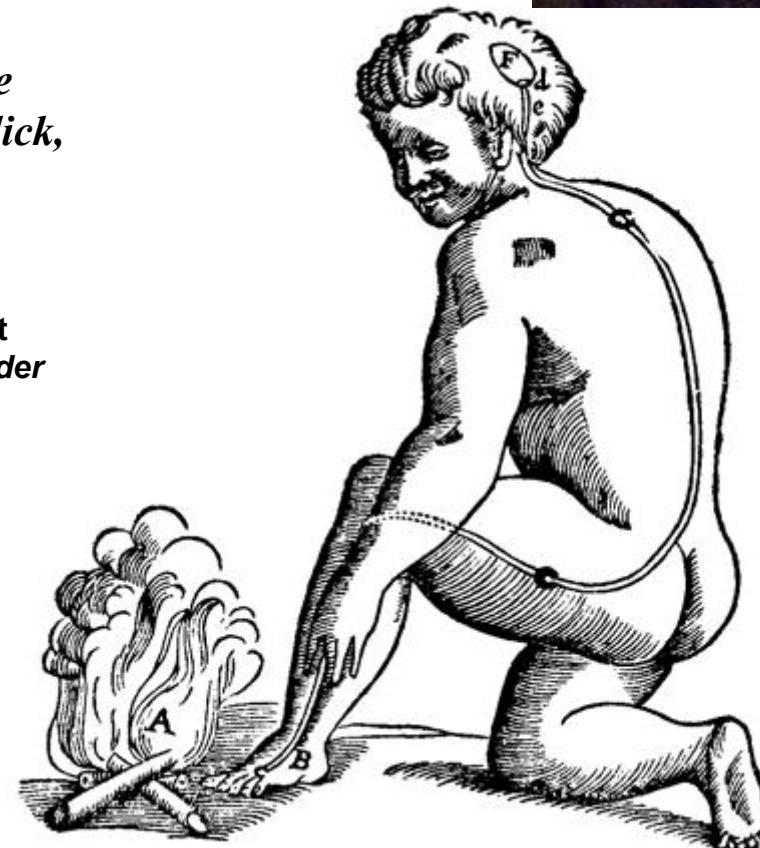
V—Verhalten wird von der neuronalen Aktivität ausgelöst und gesteuert

"Die kleinen, bekanntlich schnell beweglichen Teilchen des Feuers haben aus sich heraus die Kraft, die betroffene Stelle der Haut des Fußes in Bewegung zu setzen. Indem sie dadurch an der kleinen Faser c—c ziehen, die dort befestigt ist, öffnet sie im gleichen Augenblick den Eingang der Pore d—e, an der diese kleine Faser endet, ebenso wie man in dem Augenblick, in dem man an dem Ende eines Seilzuges zieht, die Glocke zum Klingeln bringt, die am anderen Ende hängt."

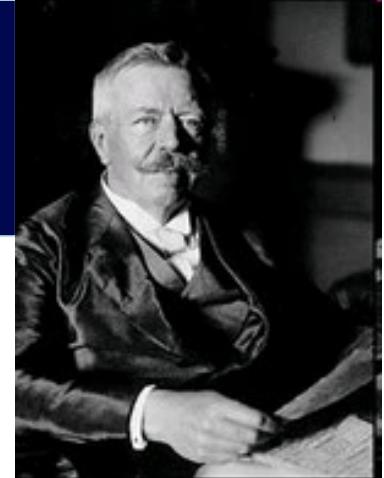
Descartes, *Traite de l'Homme* (1662), zitiert nach Düweke P. (2001) *Kleine Geschichte der Hirnforschung von Descartes bis Eccles*. München: C. Beck

Die Öffnung der Pore bewirkt dann über ein hydraulisches System die Betätigung des Muskels und den Rückzug des Fußes. Descartes gibt damit die erste mechanistische Erklärung eines einfachen Verhaltens.

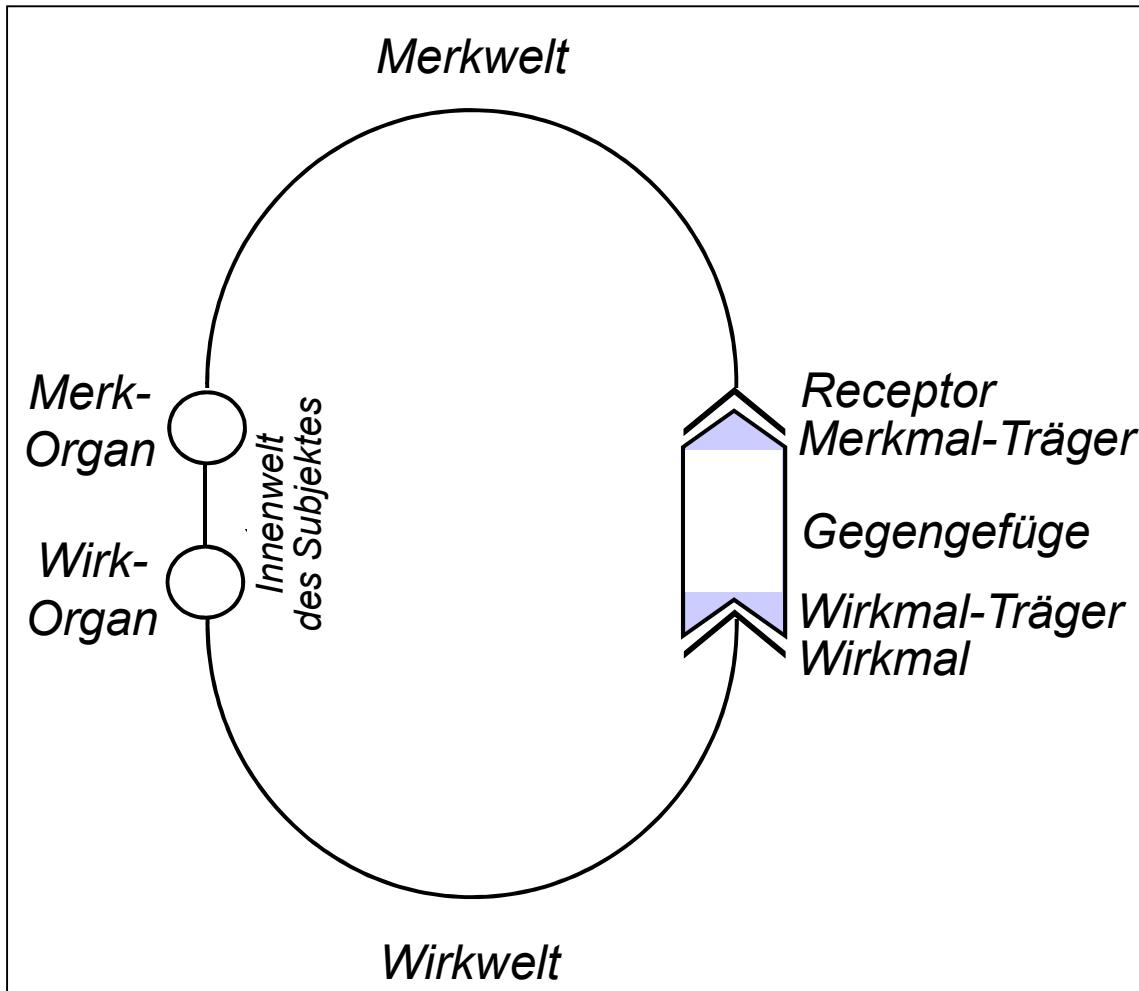
Rene Descartes
(1596-1650)



V—Verhalten wird von der neuronalen Aktivität ausgelöst und gesteuert



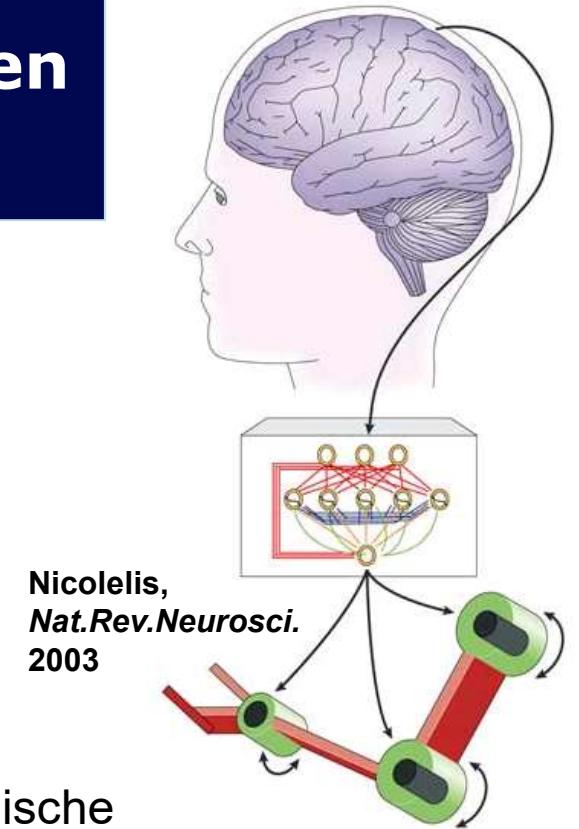
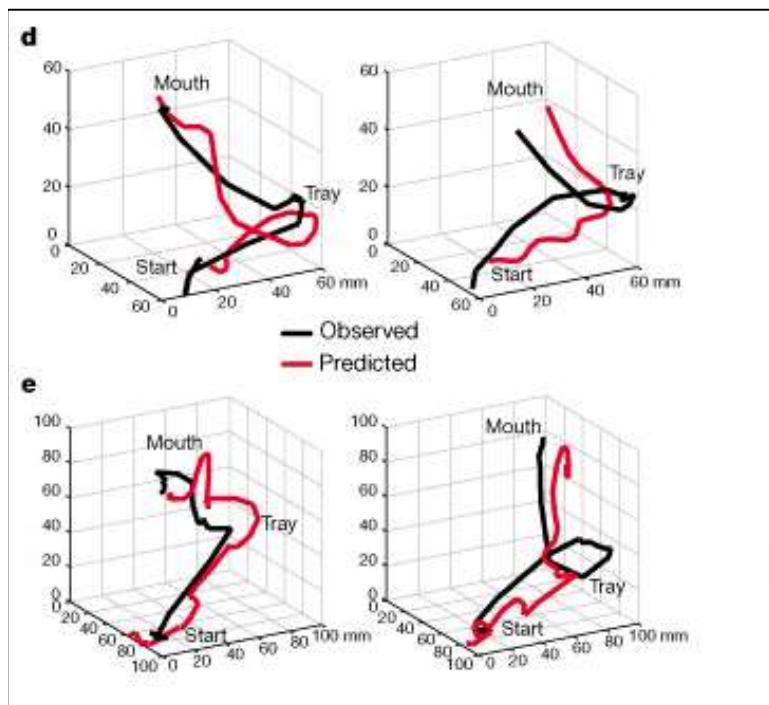
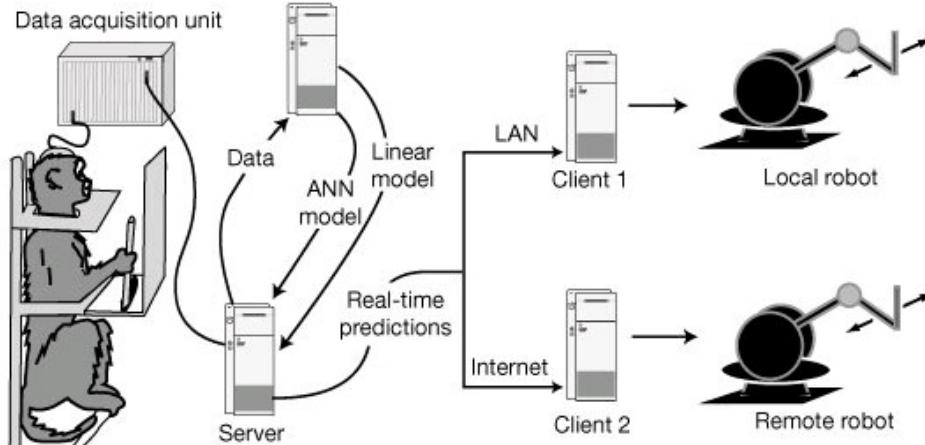
Jakob von Uexküll
1864-1944



J. von Uexküll, G. Kriszat: *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen*. Hamburg: Rowohlt 1956

- Verhalten erfolgt in einem Regelkreis, in dem die sensomotorische Schleife über die Umwelt ("Gegengefüge") geschlossen ist.
- Das Nervensystem fungiert als Regler in diesem System.
- Jede Tierart hat ihre eigene "Umwelt", die durch ihre sensorischen und effektorischen Interaktionsmöglichkeiten mit der Außenwelt definiert ist.

V—Verhalten wird von der neuronalen Aktivität ausgelöst und gesteuert



Durch elektrophysiologische Ableitung von Signalen aus dem Motorkortex und anderen Hirngebieten eines Makakken kann ein Roboterarm gesteuert werden, so dass er die Bewegungen des Affen imitiert. Die Abbildung des Signals auf die Bewegung wird zuvor mit realen Bewegungsdaten des Affen trainiert.

Wessberg et al., *Nature* 408 (2000)

VI—Lernen beruht auf neuronaler Plastizität

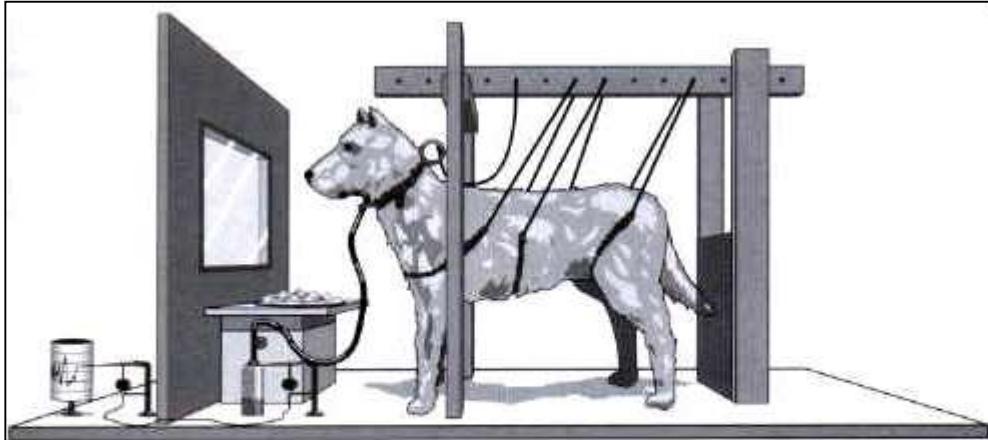
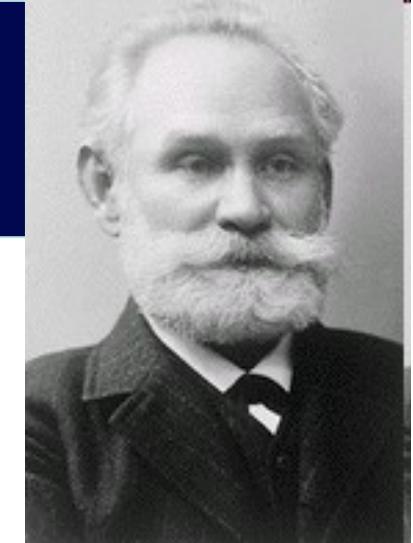


Figure 3.1 Diagram of the Pavlovian salivary conditioning preparation. A cannula attached to the animal's salivary duct conducts drops of saliva to a data-recording device. (From "The Method of Pavlov in Animal Psychology," by R. M. Yerkes and S. Morgulis, *Psychological Bulletin*, 1909, 6, 257–273.)

Eine wichtige Form des Lernens ist das **assoziative** Verbinden eines Reizes mit einer Reaktion. Bei der **klassischen Konditionierung** wird ein neuer Reiz gelernt, der dann die bekannte Reaktion auslöst. Bei der **operanten Konditionierung** wird eine neue Aktion gelernt, die auf einen bekannten Reiz folgt.



Iwan Petrowitsch
Pawlow, 1849-1936

Nobelpreis 1904

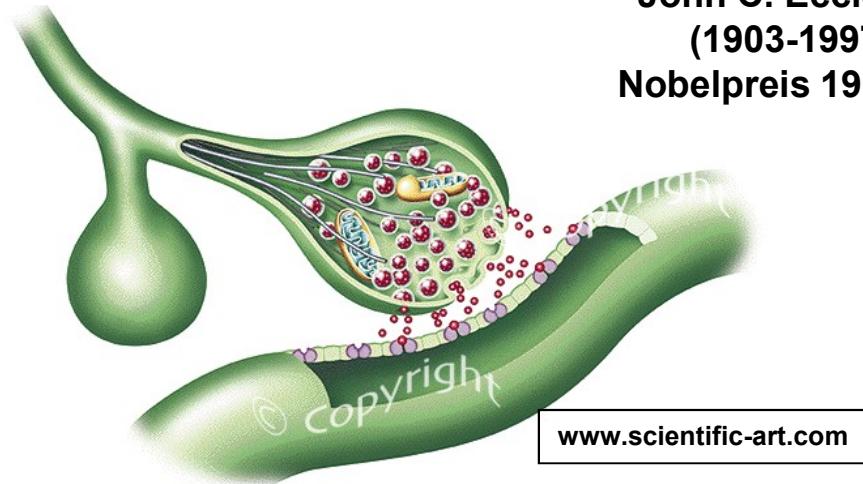
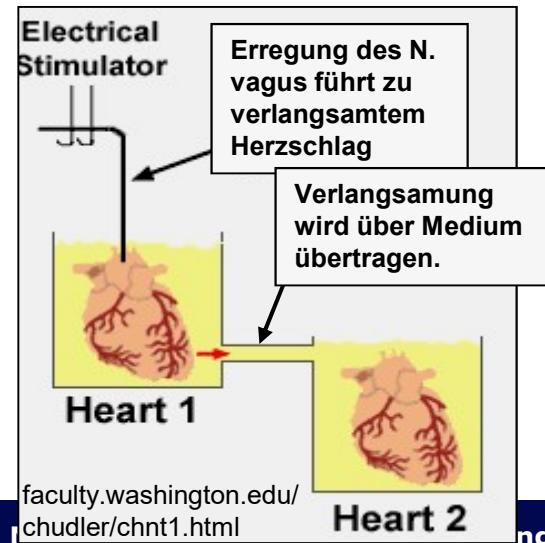
Assoziatives Lernen ist Grundlage des **Behaviorismus**, der Verhalten ausschließlich durch **Reiz-Reaktions-Schemata** erklären will. Dieser Gedanke wurde durch den Kognitionsbegriff überwunden, der ausdrücklich innere ("mentale") Zustände als Auslöser von Reaktionen zulässt.



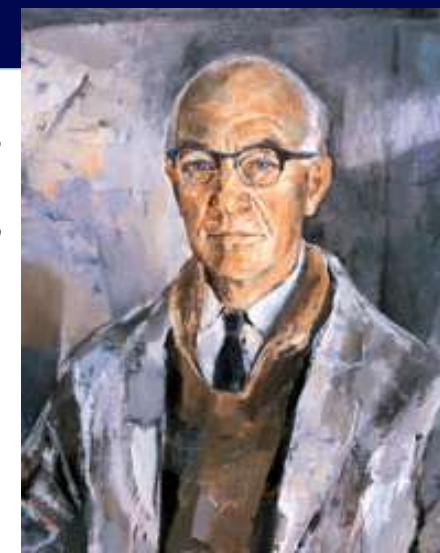
VI—Lernen beruht auf synaptischer Plastizität



Otto Loewi 1873-1961
Nobelpreis 1936



John C. Eccles
(1903-1997),
Nobelpreis 1963



Die **chemische Natur der neuronalen Übertragung** wurde erstmalig bei neuromuskulären Synapsen gezeigt ("Vagusstoff", Acetylcholin). Bei Eintreffen eines Aktionspotentials setzen synaptische Endigungen Vesikel mit **Transmitter-substanzen** frei. Diese werden an der postsynaptischen Membran erkannt und lösen dort über verschiedene Mechanismen u.a. Potentialänderungen aus, die **erregend** (depolarisierend) oder **hemmend** (hyperpolarisierend) sein können. Synapsen dienen damit der **Integration** neuronaler Signale.

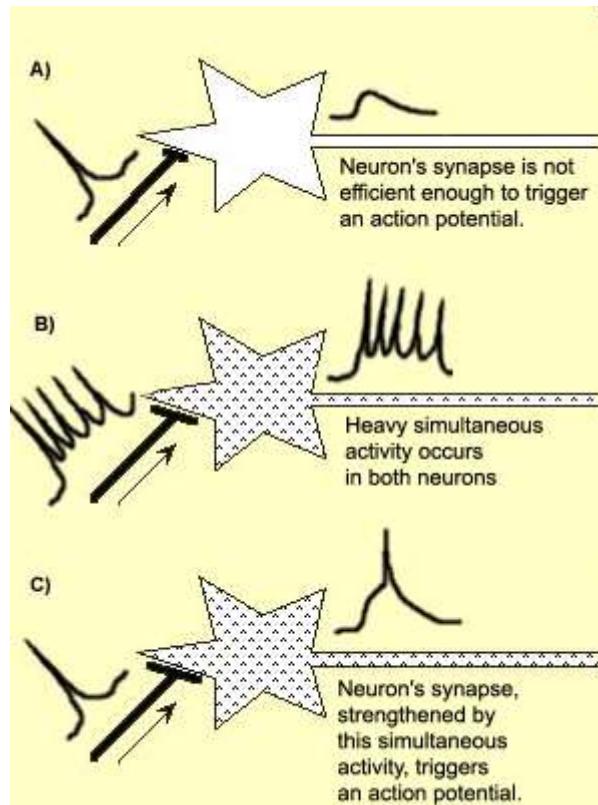
VI—Lernen beruht auf neuronaler Plastizität

"When an axon of cell A is near enough to excite cell B and repeatedly or persistently takes part in firing it, some growth process or metabolic change takes place in one or both cells such that A's efficiency, as one of the cells firing B, is increased."

The Organization of Behaviour (1949)



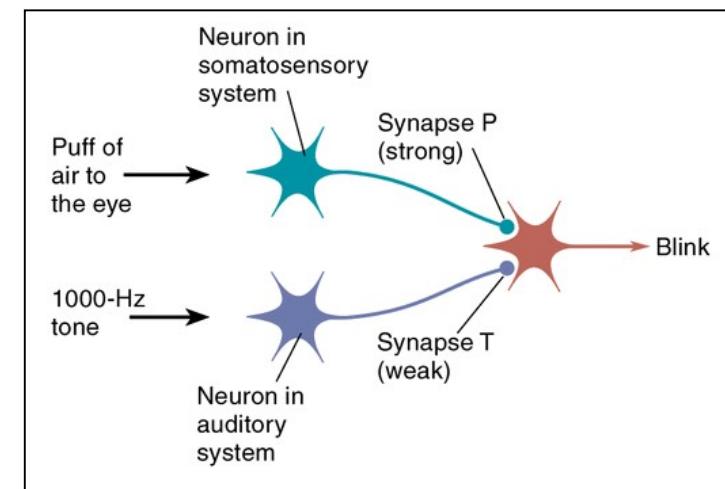
Donald O. Hebb
(1904-1985)



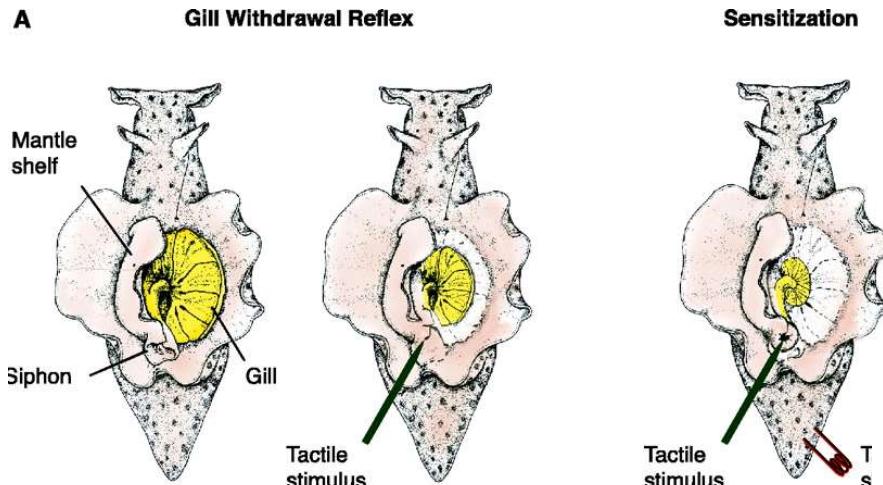
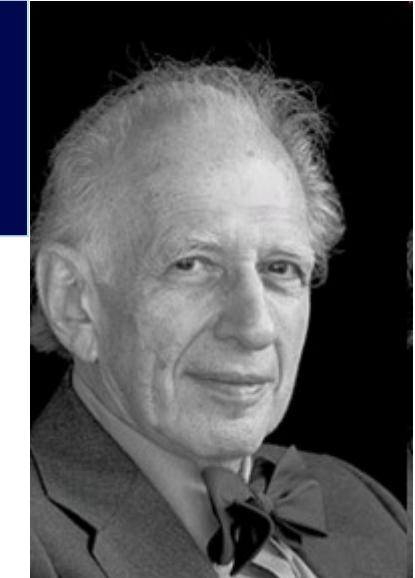
Links: Die Hebb-Regel entspricht dem Effekt der Bahnung (longterm-potentiation, LTP)

www.thebrain.mcgill.ca

Rechts: Die Hebb-Regel erklärt klassische Konditionierung durch Verstärkung einer vorher ungenutzten Synapse (T).

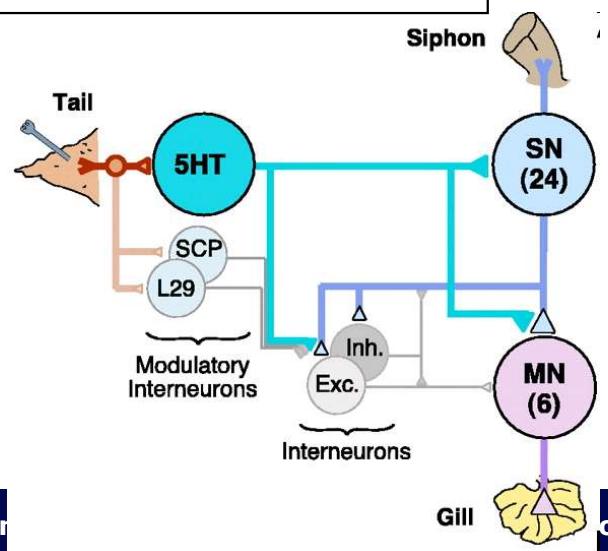


VI—Lernen beruht auf neuronaler Plastizität

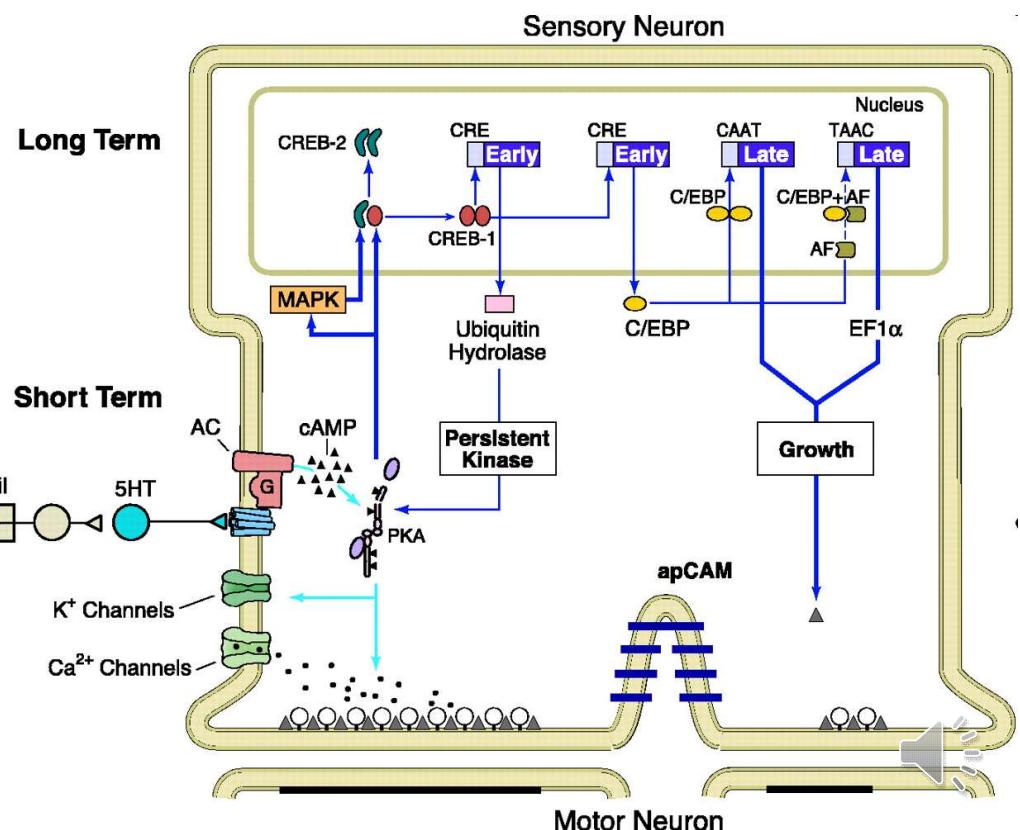


Eric R Kandel
*1929
Nobelpreis 2000

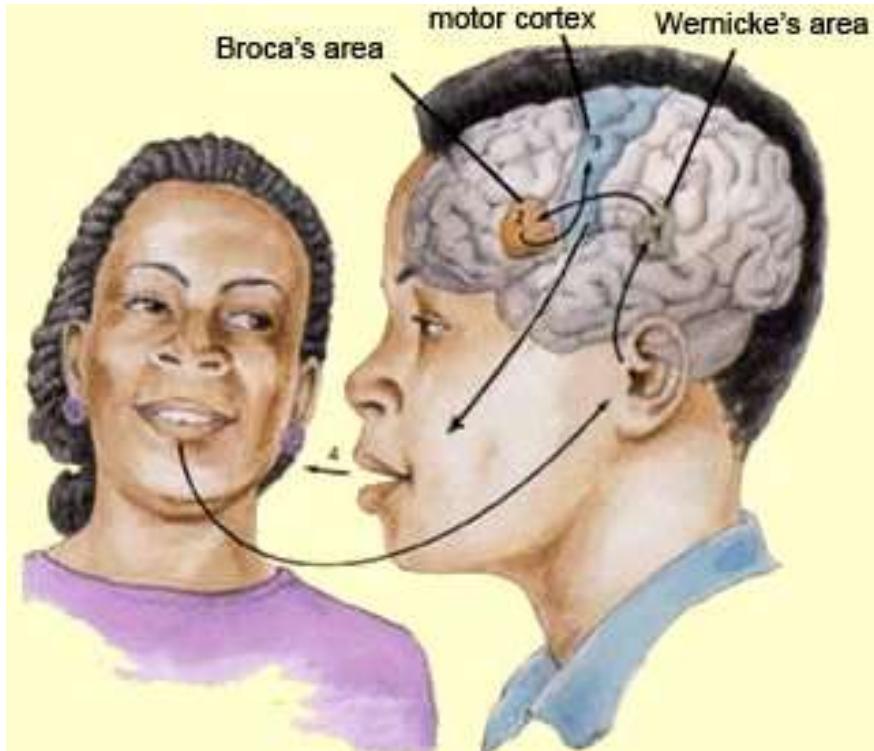
Kandel ER (2001) The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialogue Between Genes and Synapses. *Science* 294:1030-38



Neuro- und Sin

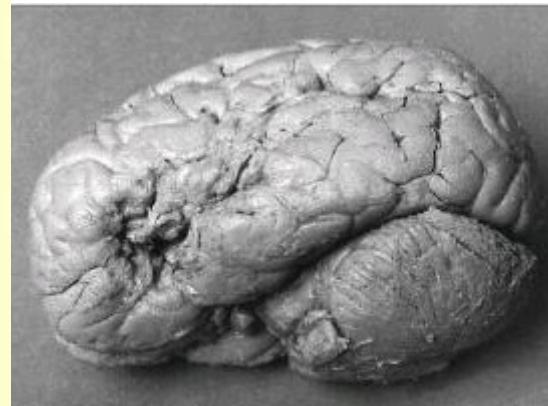


VII—Das Gehirn ist arbeitsteilig organisiert



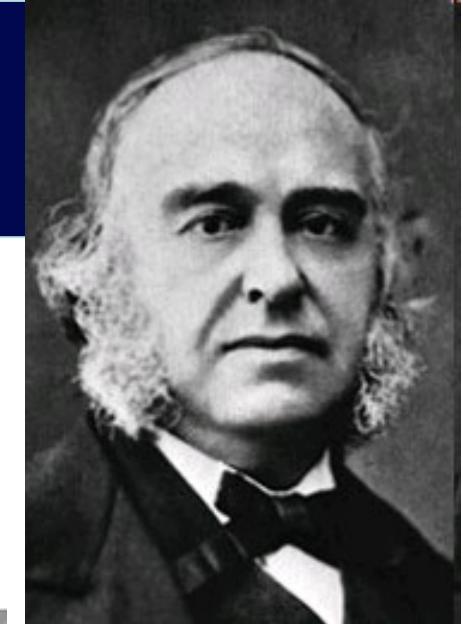
Moderne Vorstellung der wichtigsten Sprachareale.

www.thebrain.mcgill.ca



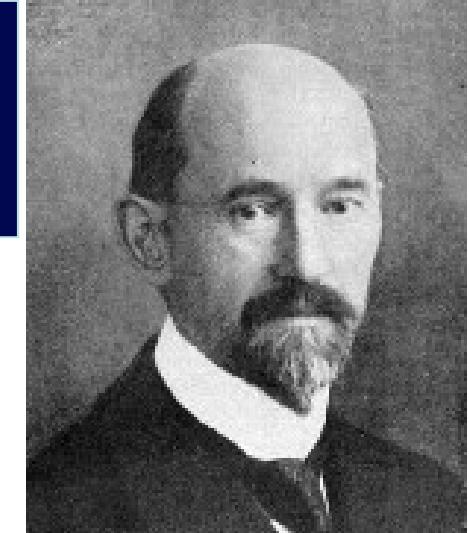
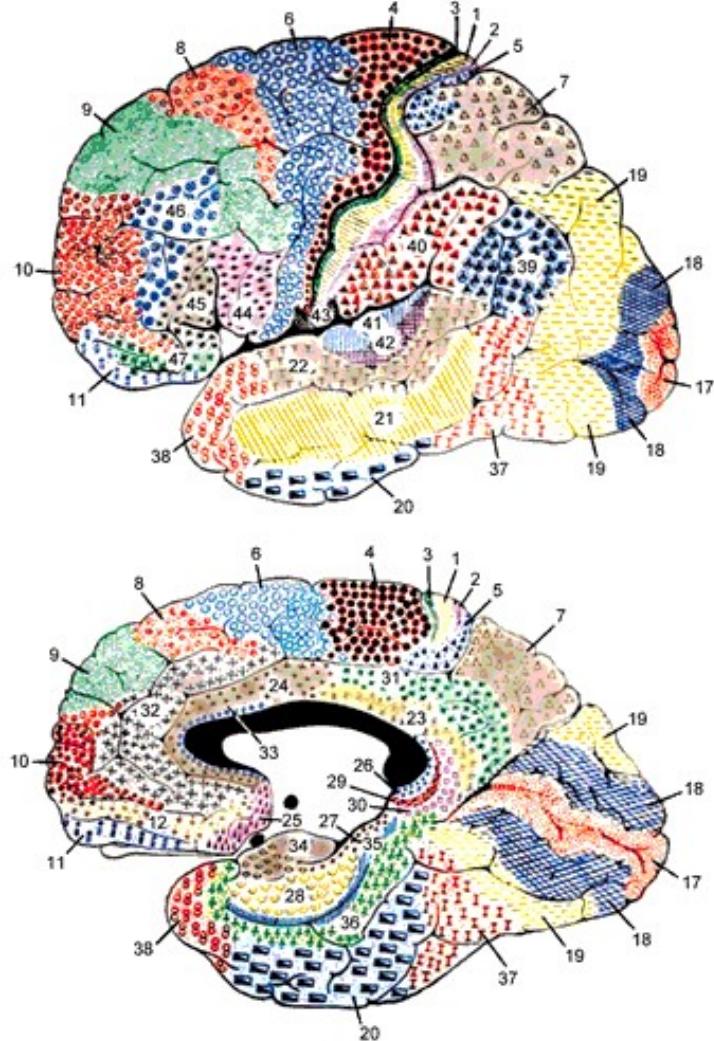
Linke Seitenansicht des Gehirns von Brocas Patienten Leborgne ("Tan"), dessen Sprachdefizit namengebend für die Broca-Aphasie geworden ist.

neurophilosophy.wordpress.com



Pierre Paul Broca
(1824-1880)

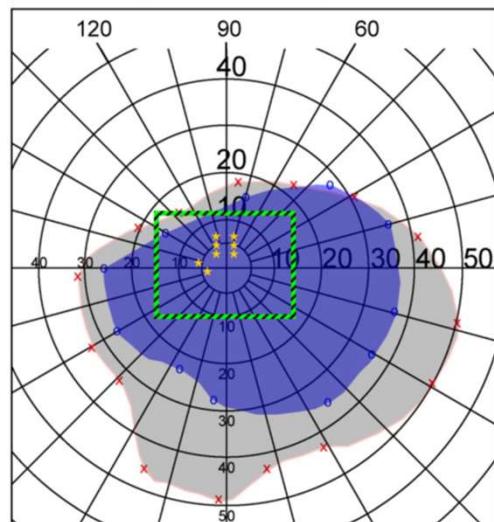
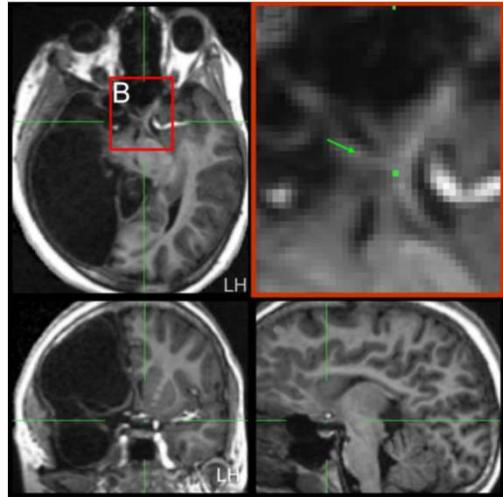
VII—Das Gehirn ist arbeitsteilig organisiert



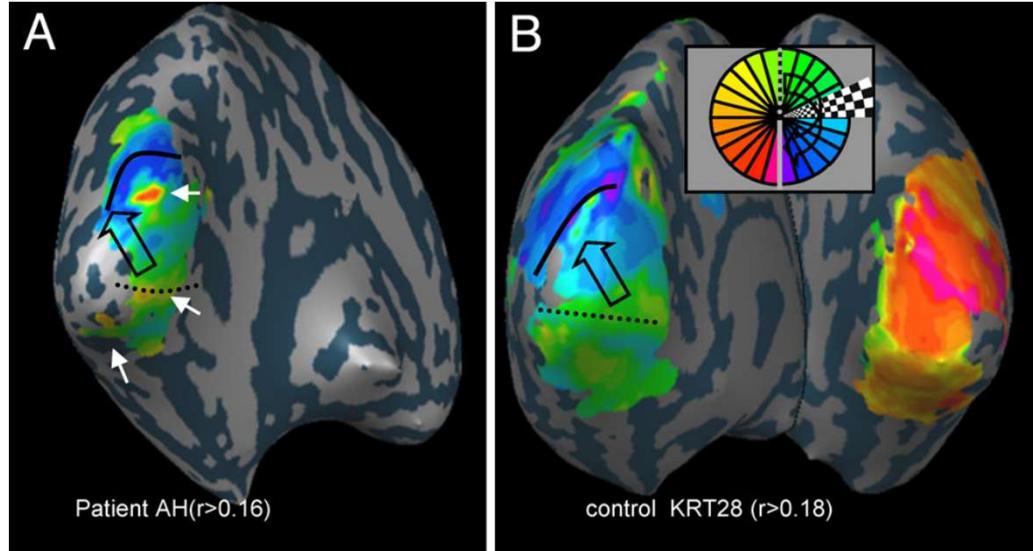
Korbinian Brodmann
(1868-1918)

- Einteilung der Großhirnrinde in ca 50 Areale nach ihrer Histologie
- Diese Einteilung dient bis heute als Grundlage für neuropsychologische Untersuchungen
- Beispiele
 - Area 4: primärer Motorcortex
 - Area 17 (V1) primärer visueller Cortex
 - Area 23/24: Gyrus cinguli
 - Area 44/45: Brocas "motorisches" Sprachareal

VII—Das Gehirn ist arbeitsteilig organisiert

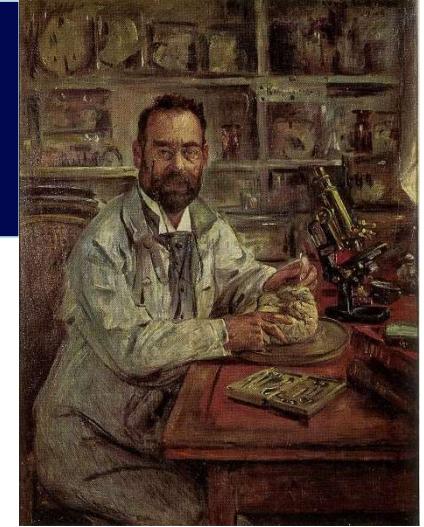


Muckli et al. PNAS 2009



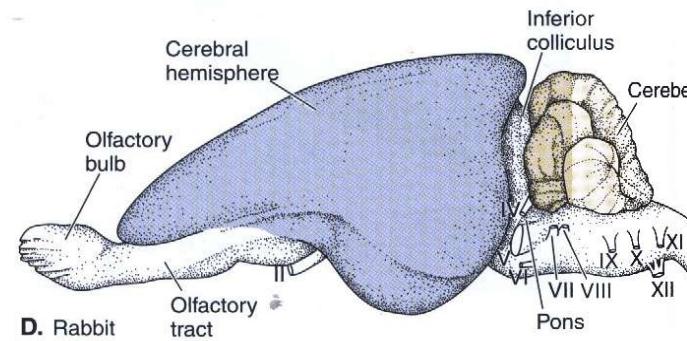
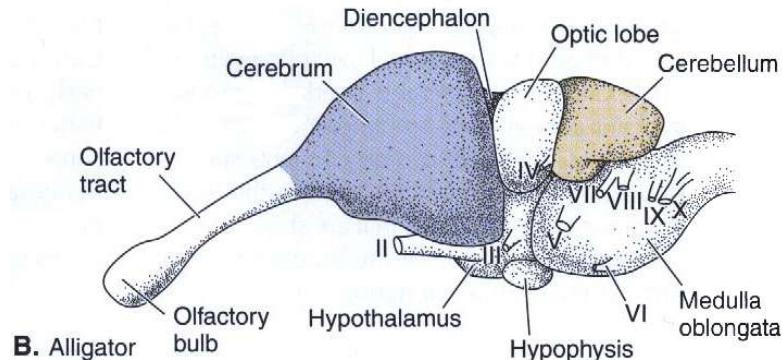
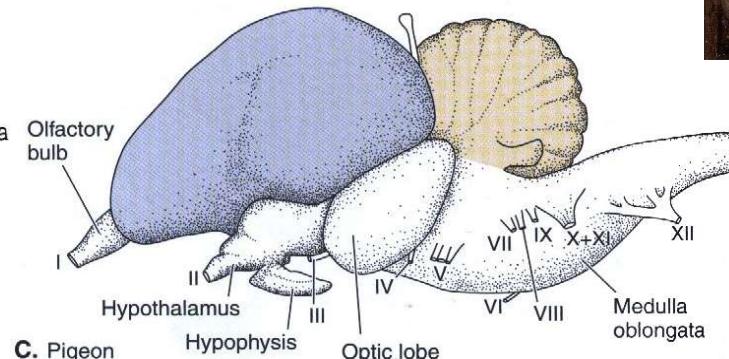
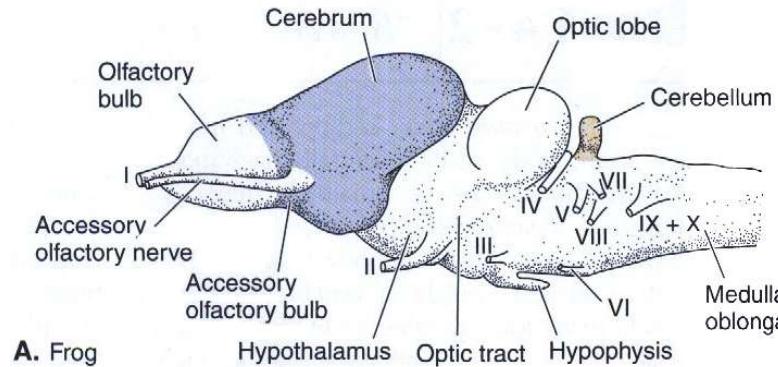
- **Links oben:** Gehirn der Patientin AH, mit fast vollständigem Fehlen der rechten Hemisphäre (congenital).
- **Links unten:** Gesichtsfeld mit deutlichen contralateralen Anteilen aber Defiziten im oberen Bereich
- **Oben mitte und rechts:** Gesichtsfeldrepräsentation bei AH (mitte) und einer gesunden Kontrollperson. Die linke Hemisphäre von AH enthält "Inseln" mit ipsilateraler Repräsentation (Pfeile, Rot- und Gelbtöne)
- **Reorganisation von Hirnfunktionen**

VIII – Das Gehirn ist ein Produkt der Evolution



Ludwig Edinger
(1855-1918)

Gemälde von Lovis Corinth



Vergleich verschiedener
Wirbeltiergehirne. Bei gemeinsamem
„Bauplan“ sind verschiedene
Spezialisierungen erkennbar.

Liem p. 486

Zusammenfassung: Acht grundlegende Ideen der Hirnforschung

- I. Das Nervensystem besteht aus Neuronen, die als Einheiten der Informationsverarbeitung fungieren. Sie kommunizieren miteinander über Synapsen.
- II. Grundlage der Funktion ist die elektrische Erregbarkeit von Neuronen
- III. Sinnesorgane sind "Wandler", die physikalische Energien in neuronale Erregung übersetzen.
- IV. Neuronale Erregung kodiert Informationen aus der Umwelt
- V. Verhalten wird neuronal kontrolliert. Neuronale Komponenten sind die Sensorik, die Motorik und die zentrale Steuerung und Regulation.
- VI. Das Nervensystem ist plastisch veränderbar, insbesondere auf der Ebene der Synapsen. Dies ist die Grundlage des Lernens.
- VII. Das Nervensystem ist arbeitsteilig organisiert; Gehirngebiete können bestimmten Teilfunktionen zugeordnet werden.
- VIII. Das Gehirn ist ein Produkt der Evolution. Sein Anpassungswert liegt in der Produktion zweckmäßigen Verhaltens.