

# 2 Physiologische und psychologische Grundlagen

2.1 Nervensystem 

2.2 Gehirn

2.3 Gedächtnis: Wissen, Lernen, Vergessen

Literatur:

Holzinger, Basiswissen Multimedia Band 2, S. 26 – 95

G. Maier, H. Kerschbaumsteiner: Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn.

Siehe <http://www.r-brockmann.de/gehirn/IViG.htm>

# Nervensystem

- Nervensystem = Geflecht von Nervenzellen

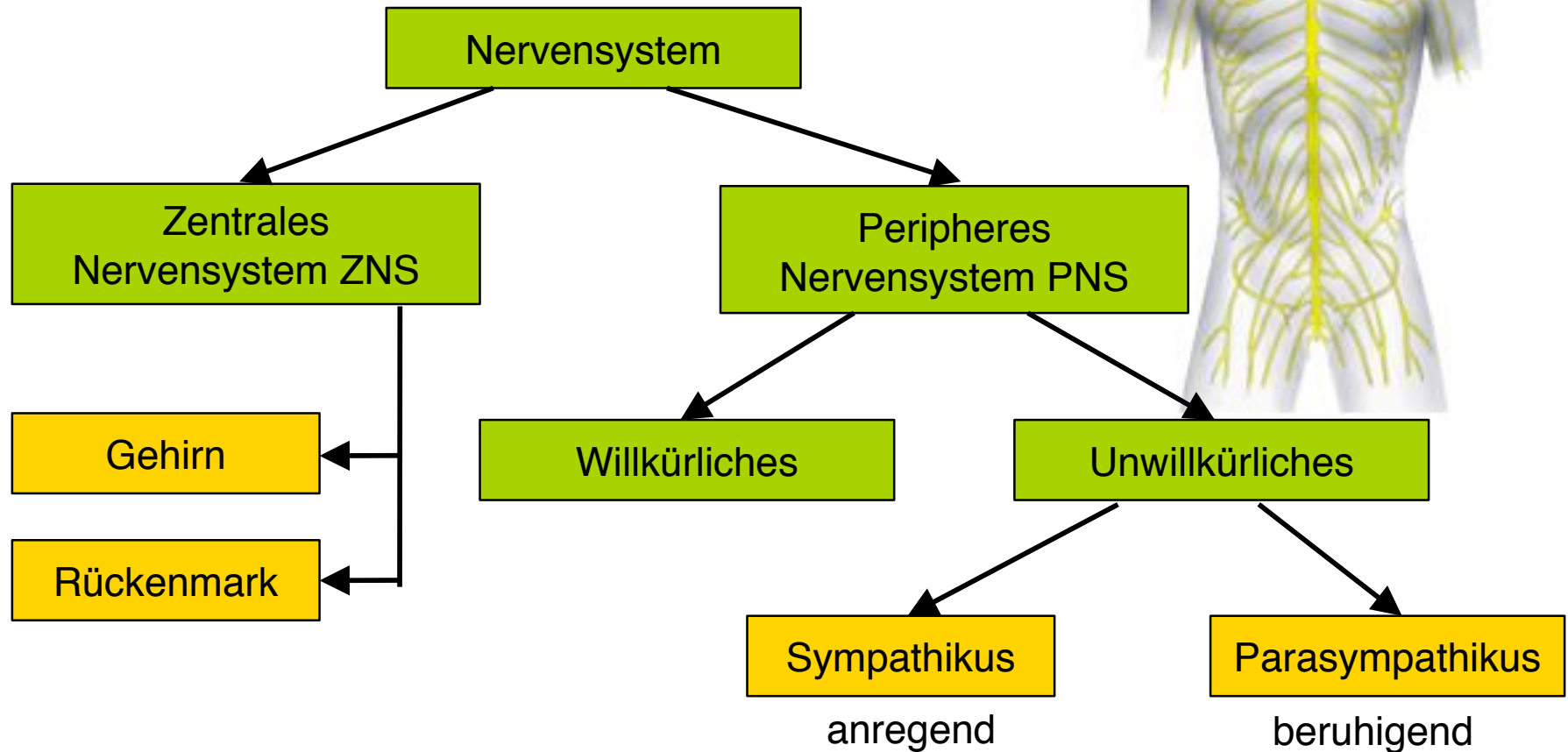
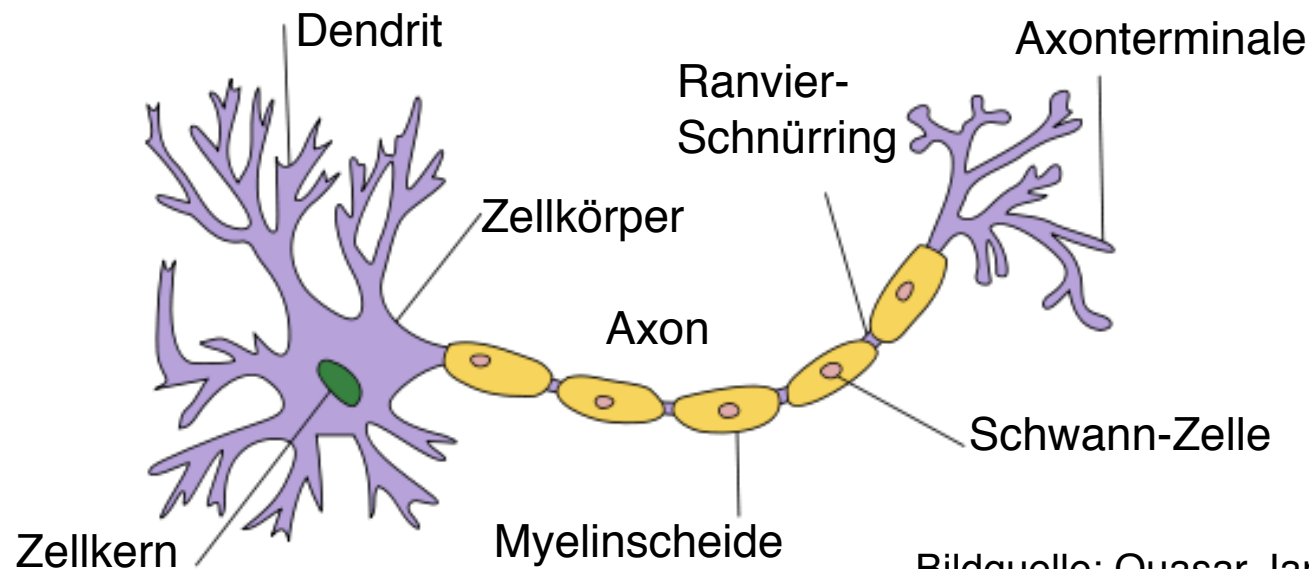


Bild: [http://www.g-netz.de/Der\\_Mensch/nervensystem/index.shtml](http://www.g-netz.de/Der_Mensch/nervensystem/index.shtml)

# Neuron

- Menschliches Gehirn: bis zu 100 Milliarden Nervenzellen (Neuronen)
  - Vergleich: Wurm besitzt 300 Neuronen insgesamt
- Funktionen: Aufnahme von Sinnesreizen, Steuerung von Muskelzellen, Weiterleitung von Informationen
- Neuron wirkt als Übertragungsstrecke und besitzt schaltbare Verbindungen zu anderen Neuronen (Synapsen)

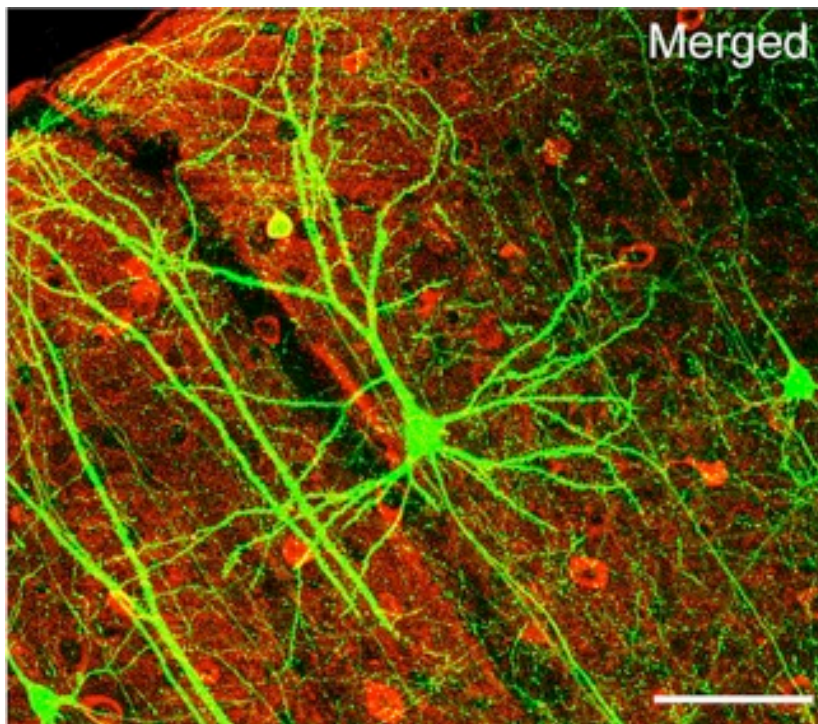


Grösse:  
ca. 0,1 mm

Bildquelle: Quasar Jarosz at en.wikipedia

# Neuronennetzwerk

- Jedes Neuron besitzt ca. 10 000 Verbindungen zu Nachbarneuronen
  - Bis zu  $10^{15}$  Neuronen-Verbindungen im menschlichen Gehirn
  - 10 % der Neuronen für Ein-/Ausgabe
  - 90 % stark verknüpft, Neuronennetzwerk



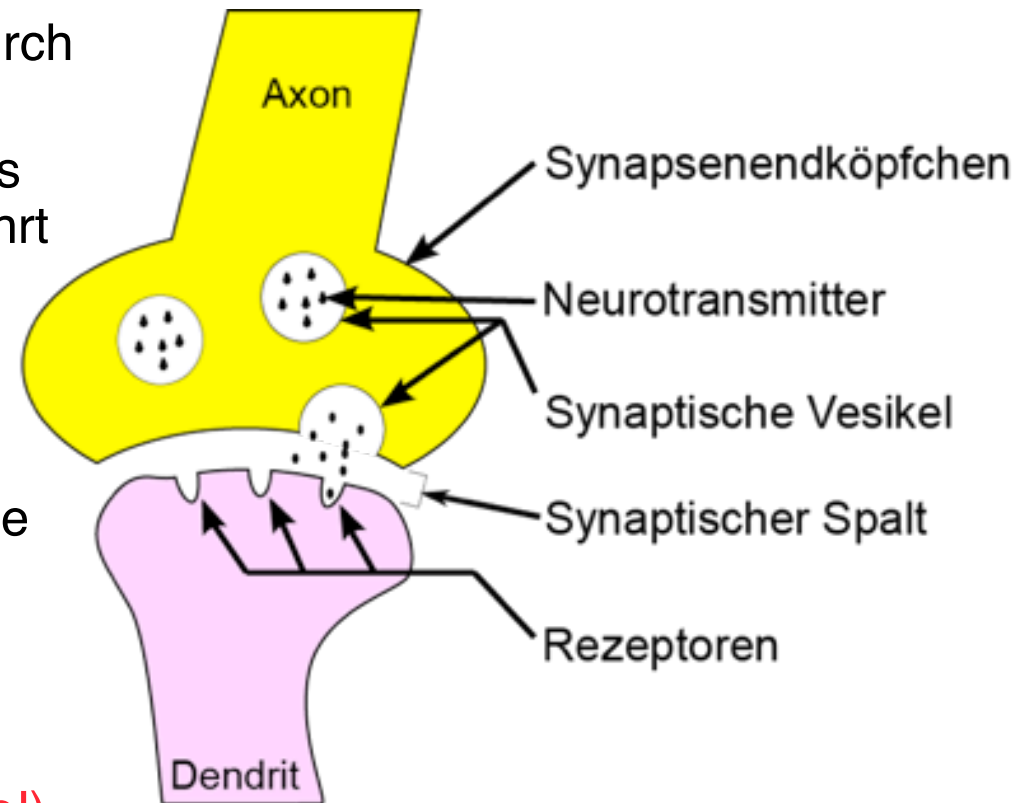
Aus der Großhirnrinde  
einer Maus

Maßstab: 100  $\mu\text{m}$

Bildquelle: Lee/Huang/Feng/Sanes/Brown/So/Nedivi.  
PLoS Biology

# Synapsen: Chemische Schalter

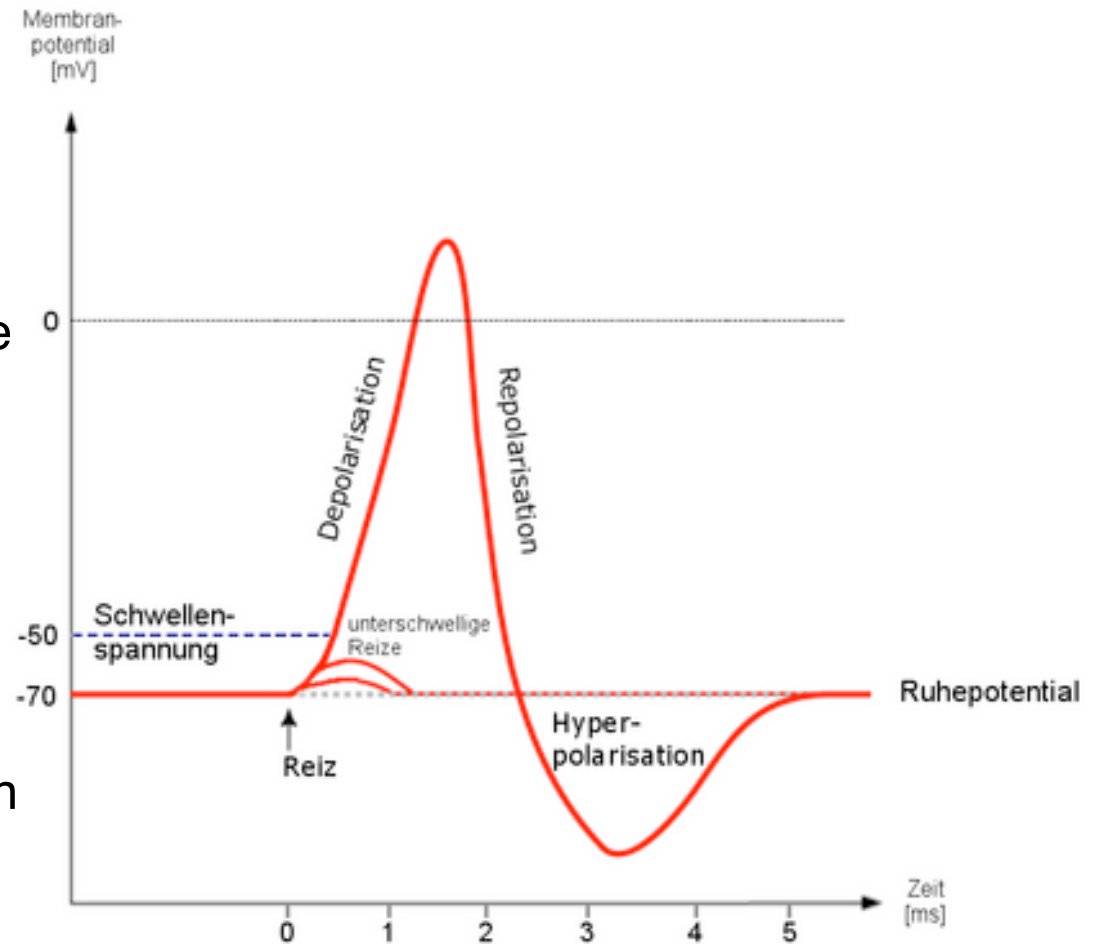
- Das Ruhepotential an der Zellmembran entsteht durch die Diffusion verschiedener Ionen durch die Membran (Ionenkanäle)
- Ein über das Axon ankommendes (elektrisches) Aktionspotential führt zur Freisetzung von Transmittersubstanzen
- Die Transmittersubstanzen lösen chemische Reaktionen in der Nachbarzelle aus (Ionenfluss), die wieder einen elektrischen Reiz darstellen.
- **Schaltvorgänge hängen also von komplexen chemischen Voraussetzungen ab (Nervengifte!)**



Animation

# Informationsweiterleitung im Neuronennetzwerk

- Elektrisches Potential: unterschiedliche Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb der Zelle
- Neurotransmitter (chemische Signale) lösen an den Dendriten Änderungen des Potentials aus.
- „Feuern“ einer Zelle bei Erreichen eines Schwellwerts: starke Spannungsschwankungen (Aktionspotential), die an den Synapsen wieder in chemische Signale umgewandelt werden



Animation

# Extrem verteilte Informationsverarbeitung

- Entstehung des informationsverarbeitenden Systems im Gehirn:
  - Die meisten Neuronen (ca. 50%) bereits bei Geburt vorhanden
  - Dichte der Verschaltung bildet sich in den ersten drei Lebensmonaten des Menschen
  - Training auf die Umgebung
- Jede Synapse „entscheidet“, welche Kombination von ankommenden Reizen zu welcher Reizweiterleitung führt
  - **Synapsenverhalten verändert sich mit der Zeit**
  - Theorie (Donald Hebb):
    - » Training stärkt die Reizweiterleitung entlang einer bestimmten Verbindung
    - » Nichtgebrauch reduziert die Reizweiterleitung (Vergessen)
- Technische Simulation: „Neuronale Netze“, Training eines Netzes einfacher Schaltelemente mit gewichteter Transferfunktion

# Lernen ist Nervenzelltraining (1)

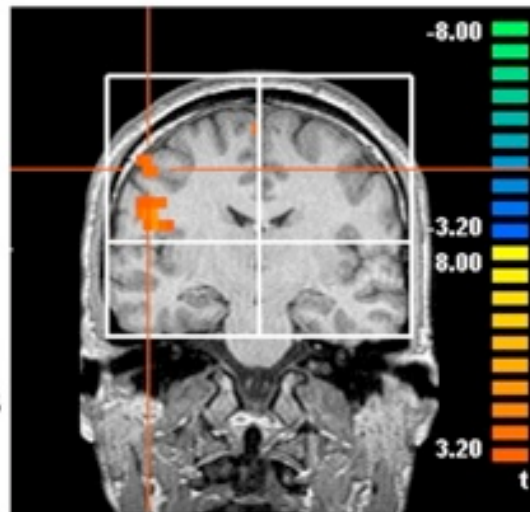
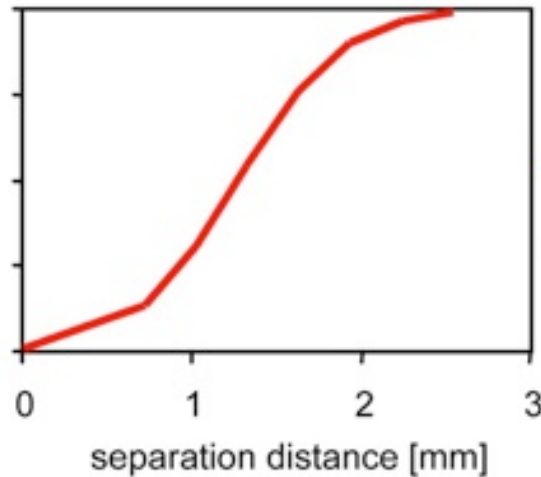
Aus einer Pressemitteilung der Ruhr-Uni Bochum 2003:

- „Lernen ist Nervenzelltraining: Wie ein Muskel durch stete Beanspruchung wächst, so wächst auch der für bestimmte Reize zuständige Bereich im Gehirn, wenn er über längere Zeit stimuliert wird. Besonders gut funktioniert das, wenn mehrere Reize zeitgleich verarbeitet werden müssen (Koaktivierung)
- Mit der fMRI (funktionelle Kernspintomografie) kann man von außen die Aktivität von Nervenzellen in der Großhirnrinde messen, ohne die Versuchsperson zu belasten.
- Lernvorgänge zeigen sich im Gehirn u. a. daran, dass die Kontaktstellen der Informationsübermittlung zwischen einzelnen Nervenzellen (Synapsen) ihre Übertragungseigenschaften verbessern.
- Die Studie belegt, dass entgegen früheren Annahmen auch im erwachsenen Gehirn in den kortikalen Karten weitreichende Reorganisationsprozesse stattfinden. Diese Prozesse betreffen Bereiche, die millimeter- oder sogar zentimetergroß sind.“

<http://www.pm.ruhr-uni-bochum.de/pm2003/msg00333.htm>



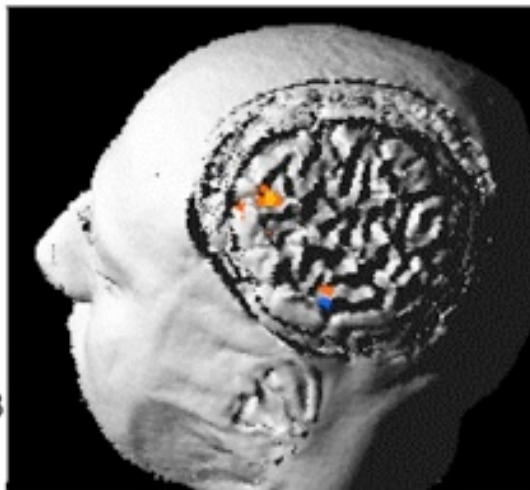
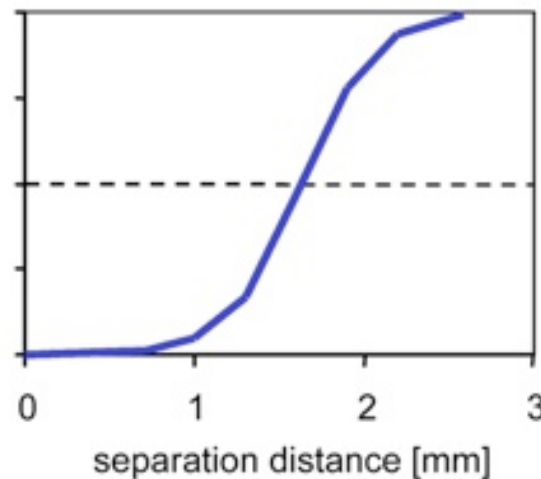
# Lernen ist Nervenzelltraining (2)



Aufgabe:  
Nahe beisammen liegende  
Punkte an der Fingerkuppe  
unterscheiden (Reizung  
durch Nadel)

Nach Training kleinerer  
Reizabstand fühlbar  
(rote Kurve)

Gleichzeitig aktiviertes  
Hirnareal deutlich vergrößert



<http://www.pm.ruhr-uni-bochum.de/pm2003/msg00333.htm>

# Lernen in künstlichen Neuronalen Netzen

- Neuronale Netze durch Hard- oder Software simuliert
  - Eingabevariablen und Ausgabevariablen durch Matrix vielfältig verbunden
  - Jeder Übergang mit einem veränderlichen Übergangsgewicht
  - Praktische Anwendung z.B. bei Mustererkennung
- Verschiedene Trainingsverfahren:
  - Überwachtes Lernen (*supervised learning*):  
Externer Lehrer liefert zu jedem Eingabemuster das korrekte Ausgabemuster
  - Bestärkendes Lernen (*reinforced learning*):  
Externer Lehrer liefert zu jedem Eingabemuster bei gegebener Antwort des Netzes (z.B. Klassifikation) die Information, ob Antwort korrekt war
  - Unüberwachtes (*un-supervised*) oder selbstorganisiertes (*self-organized*) Lernen:  
Kein externer Lehrer vorhanden, Netz versucht selbst Ähnlichkeiten der Eingabemuster zu finden und Klassifikation zu erstellen

Quelle: <http://www.chemgapedia.de/>, FIZ Chemie Berlin

# 2 Physiologische und psychologische Grundlagen

2.1 Nervensystem

2.2 Gehirn



2.3 Gedächtnis: Wissen, Lernen, Vergessen

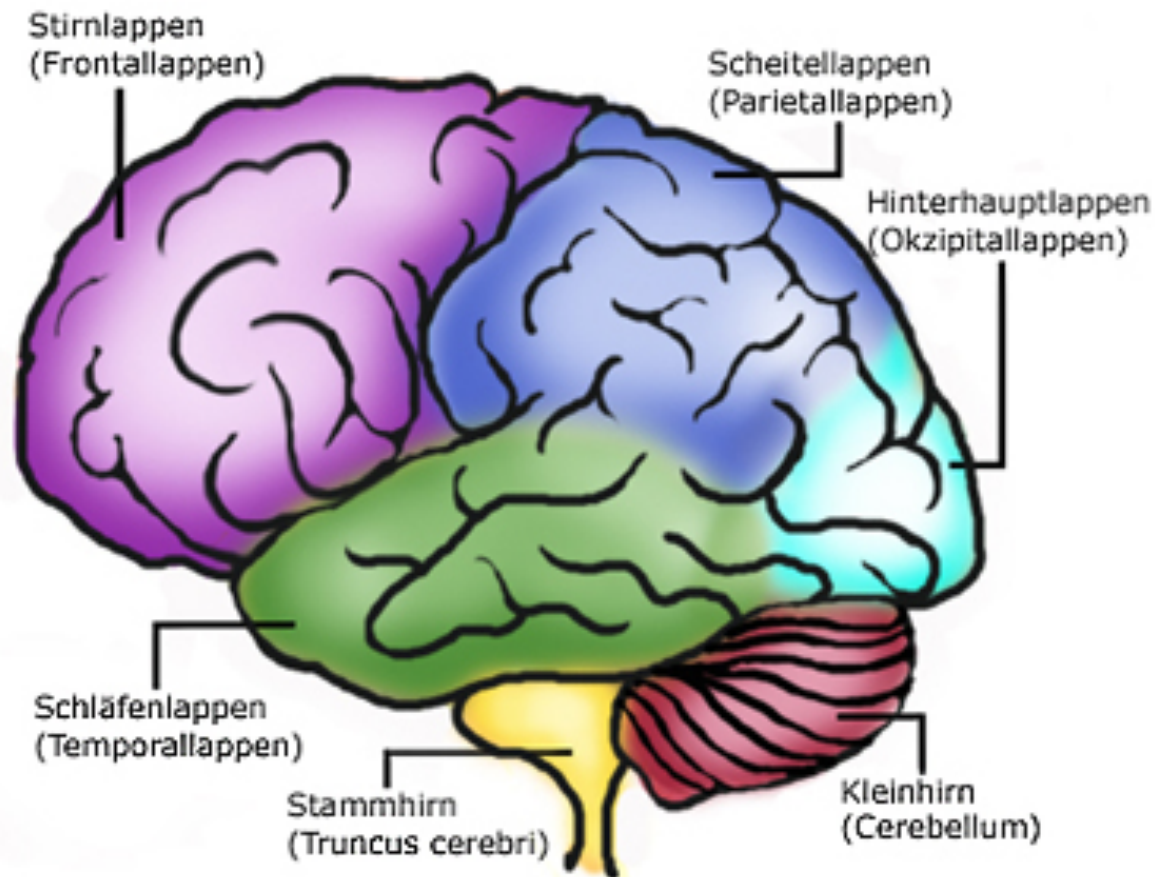
Literatur:

Holzinger, Basiswissen Multimedia Band 2, S. 26 – 95

Frederic Vester: Denken, Lernen, Vergessen, dtv 1978, 30. Auflage  
2004

Werner Stangl: <http://www.stangl-taller.at/ARBEITSBLAETTER/>

# Aufbau des Gehirns (1)



Stammhirn:

(= verlängertes Mark)  
„reptilisches Gehirn“,  
Grundfunktionen des  
Körpers  
lernt nur extrem langsam

Kleinhirn:

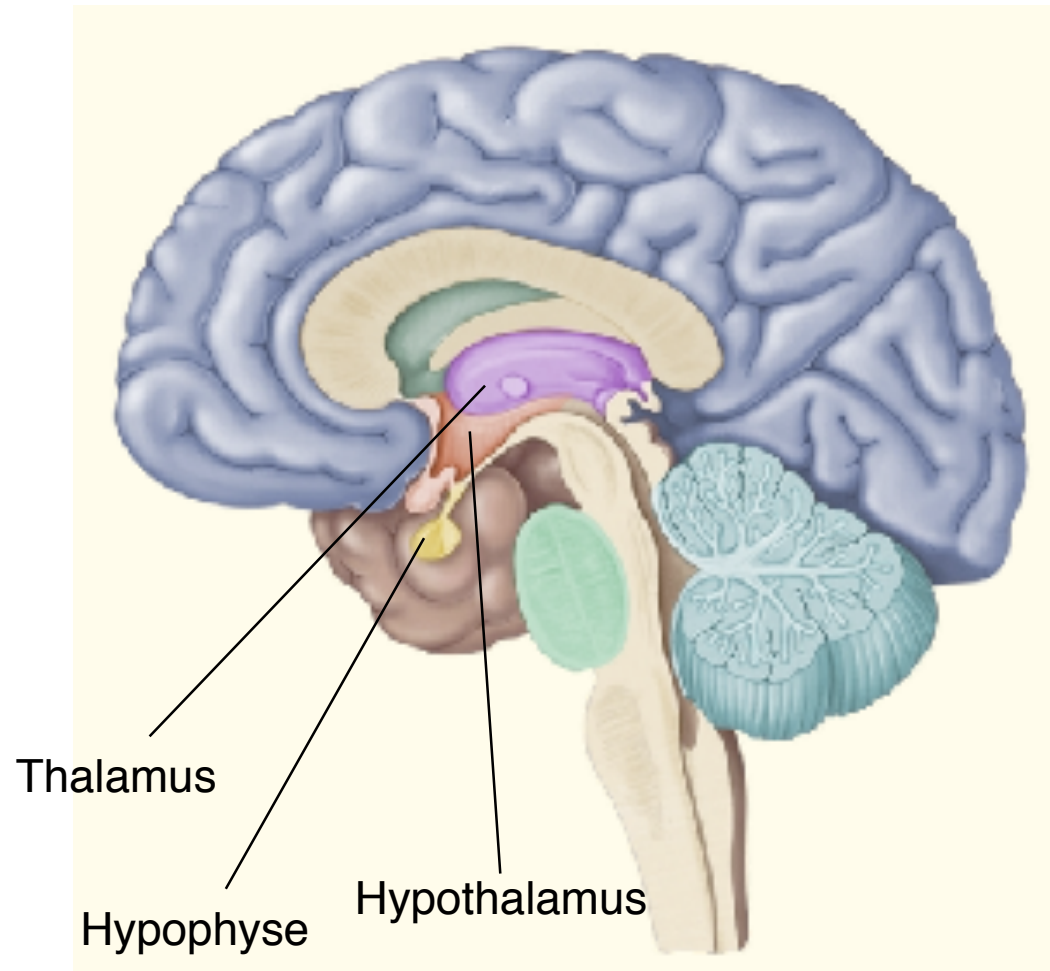
Bewegungskoordination,  
Muskeltonus, Gleich-  
gewicht

Großhirn:

Informationsverarbeitung,  
Gedächtnis, Bewusstsein,  
Intellekt

Bildquelle: netdoktor.de

## Aufbau des Gehirns (2)



Zwischenhirn:

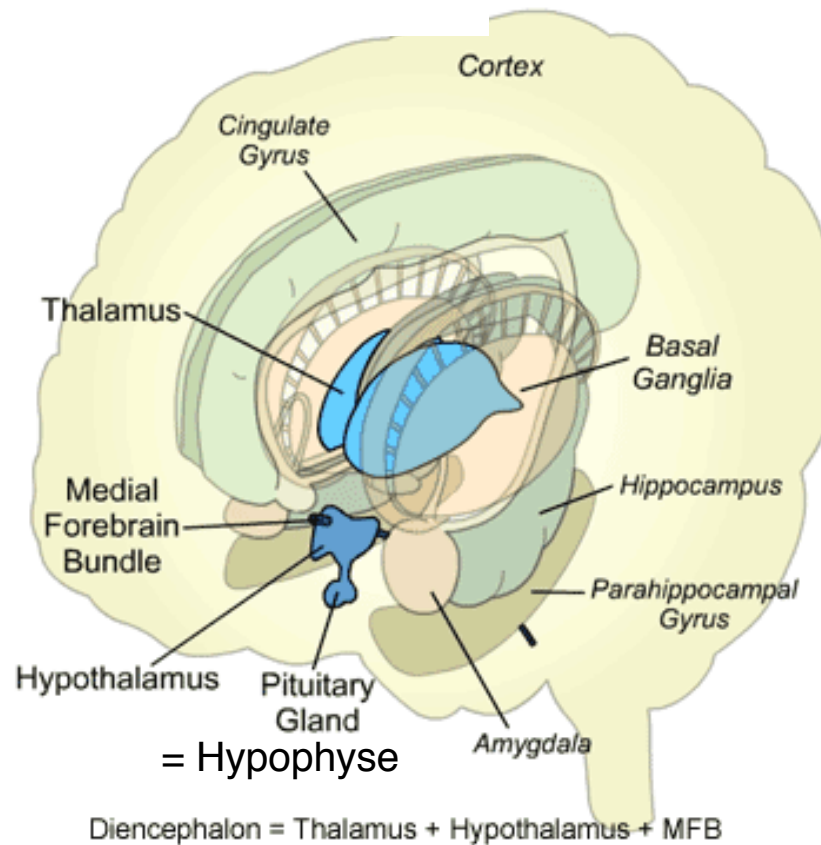
Thalamus = Schaltstelle  
für sensorische Systeme

Hypothalamus =  
Steuerung des  
vegetativen Systems,  
Stoffwechsel, Hormone,  
Sexualfunktionen

Hypophyse =  
Hormonausschüttung,  
Emotionen

Quelle: [www.forum-gehirn.de](http://www.forum-gehirn.de)

# Zwischenhirn (Diencephalon)



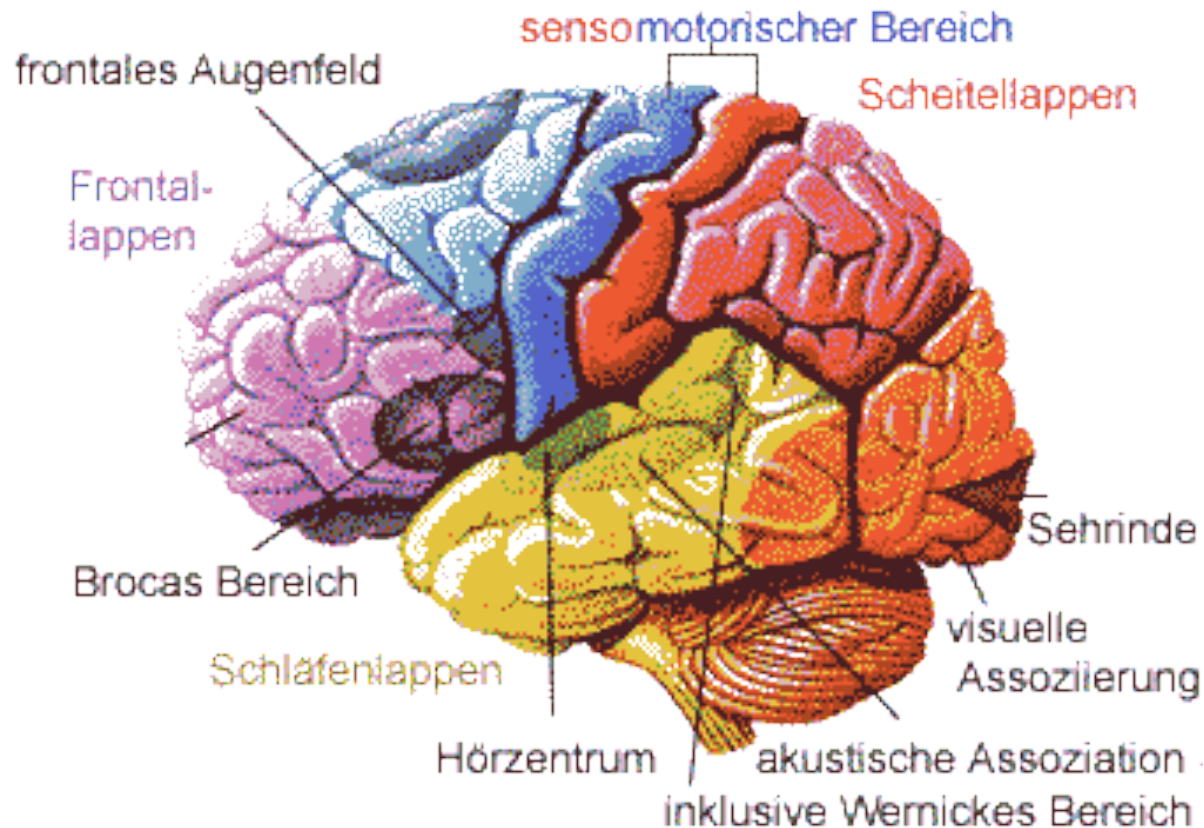
Die Aufnahme von Sinnesreizen wird zuerst emotional gefärbt, bevor eine Verarbeitung im Großhirn erfolgt!

Aufmerksamkeit und Wachheit des Großhirns werden vom Thalamus gesteuert.

Riechbahn endet ebenfalls im Thalamus.

- Quelle (& Demo): The HOPES Brain Tutorial  
<http://www.stanford.edu/group/hopes/basics/braintut/ab0.html>

# Gehirnlandkarten?



Bildquelle: stangl-taller.at

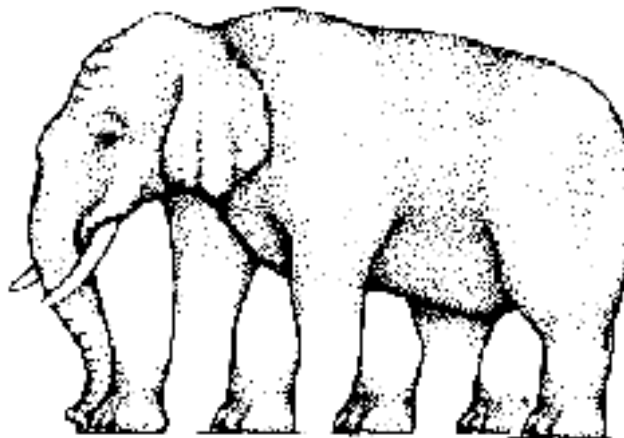
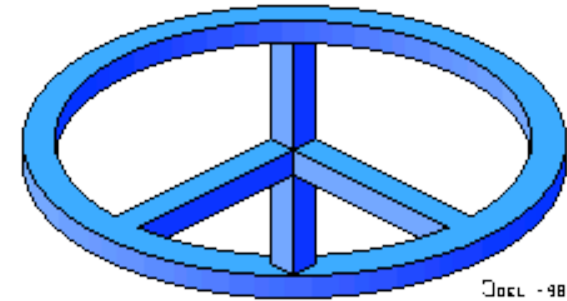
- Das Gehirn ist nicht modular nach Funktionen aufgebaut
- Gehirnregionen können andere substituieren
- Meist ist das gesamte Gehirn aktiv

# Vernetzte Wahrnehmungsleistung

- Bei der Sinneswahrnehmung arbeiten viele Zentren zusammen.
- Gehirnzentren:
  - unzählige Sprachzentren
  - Ca. fünfzig visuelle Zentren
    - » Farbe, Bewegung, Kontrast, Form, ....
- Erst nachdem sich verschiedene Regionen "kurzgeschlossen" haben, kommt das zustande, was man als Wahrnehmung von Realität bezeichnen kann.
- Beispiel visuelle Wahrnehmung:
  - Gehirn ist in der Lage, teilweise Netzhautblindheit auszugleichen
  - Sehapparat sieht nur Bewegungen, deshalb dauernde winzige Zitterbewegungen – ausgeblendet
  - Blutgefäßschatten werden vom Gehirn ausgeblendet



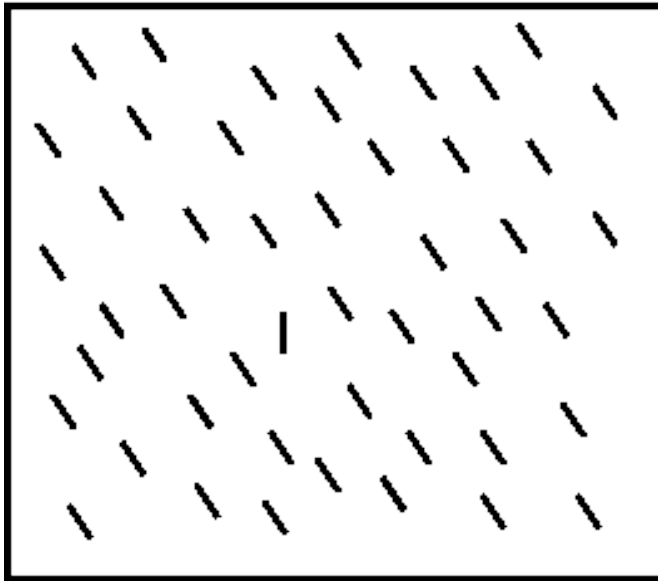
# Optische Illusionen



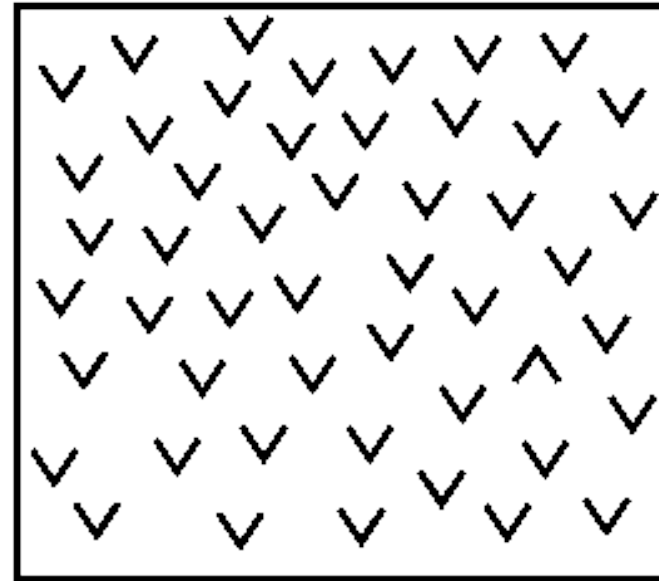
[www.eyetricks.com](http://www.eyetricks.com)

# Wahrnehmungspsychologie: Beispielversuch

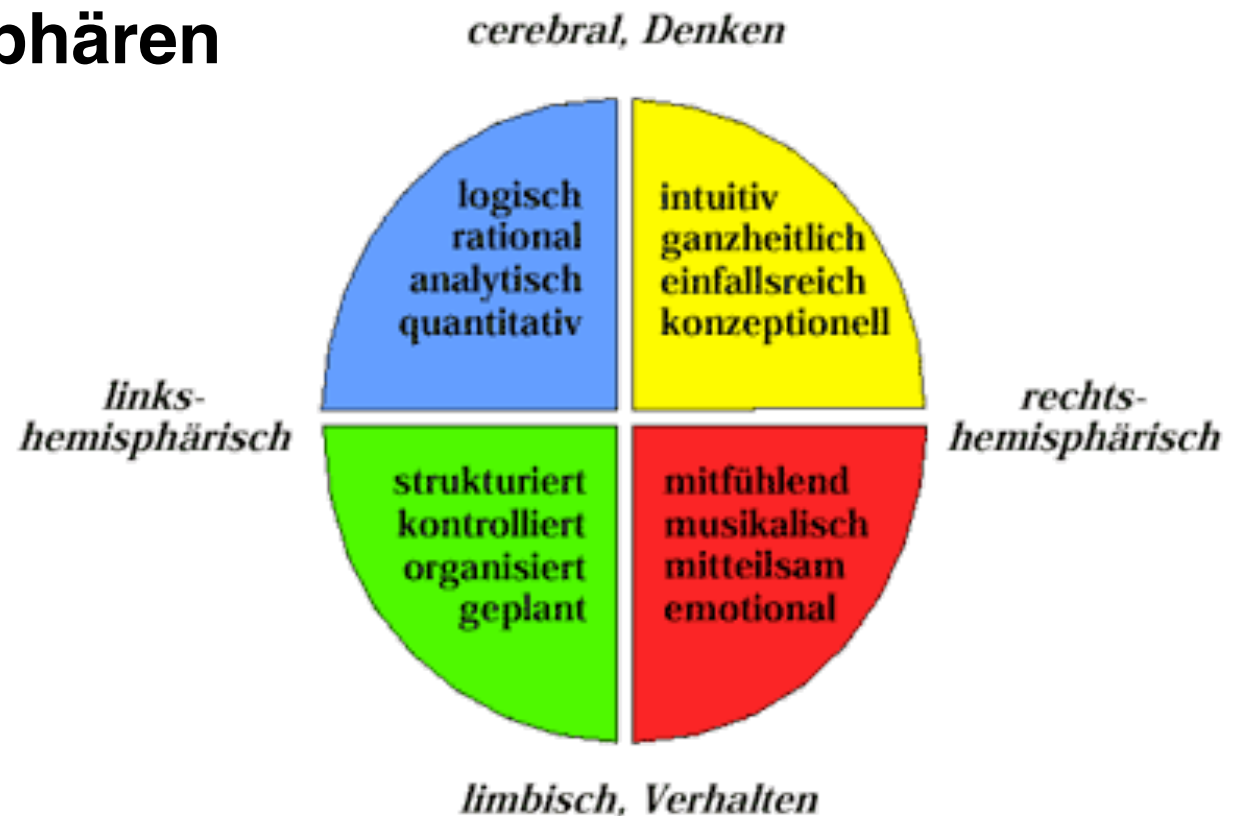
parallel



seriell



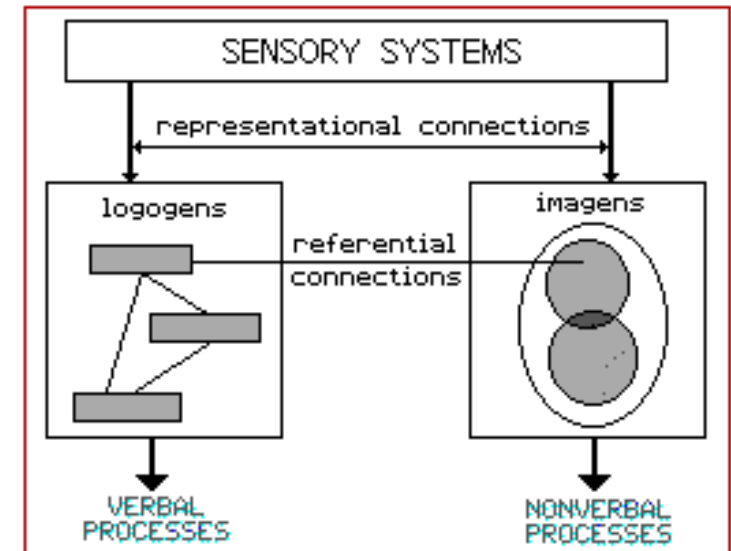
# Gehirn-Hemisphären



- Beide Hirnhälften erfüllen ähnliche Funktionen, allerdings seitenvertauscht: linke Hirnhälfte steuert rechte Körperhälfte
- R. Sperry: Split-Brain-Patienten (Balken durchtrennt)
- Holzinger: „Alle Lernmethoden müssen so strukturiert sein, dass diese die Beteiligung beider Gehirnhälften zulassen.“ – Teilweise naive Vereinfachung?

# Theorie der dualen Codierung

- Allan Paivio 1971
- Zwei Systeme zur Informationsverarbeitung
  - Verbales System (linke Hemisphäre)
    - » Lesen, Hören
    - » „Logogene“
    - » Sequentielle Verarbeitung von Reizen
  - Imaginales, visuelles System (rechte Hemisphäre)
    - » Sehen, auch Riechen, Schmecken, Tasten
    - » „Imagene“
    - » Synchrone Verarbeitung von Reizen
- Bildüberlegenheitseffekt:
  - Bilder werden in der Regel besser behalten als verbale Begriffe (Doppelcodierung?)
- Aufeinander abgestimmtes Ansprechen beider Systeme kann positiv wirken



<http://tip.psychology.org>

<http://dsor-fs.upb.de/~blumstengel/Dual-Coding.html>

# Lerntypen und Lernstile

- Lerntypen (laut F. Vester)
  - Auditiv, visuell, kommunikativ, motorisch
  - In der Praxis nur Mischformen, Situationsabhängigkeit
  - Vesters Lerntypen werden von der modernen Lernpsychologie abgelehnt!
  - Präferenzen für visuelle/verbale Materialien und Aktivitäten sind abprüfbar
- Lernstile (nach David A. Kolb, 1985)
  - Divergierer (Entscheider)
    - » Konkrete Erfahrung und reflektiertes Beobachten, viele Perspektiven
  - Assimilierer (Denker)
    - » Reflektiertes Beobachten und abstrakte Begriffsbildung, Induktion
  - Konvergierer (Entdecker)
    - » Abstrakte Begriffsbildung und aktives Experimentieren, Deduktion
  - Akkomodierer (Praktiker)
    - » Aktives Experimentieren und konkrete Erfahrung, Aktivitäten

D. A. Kolb: Learning Style Inventory, Hayes 1981

S. A. Santo; Relationships Between Learning Styles and Online Learning, *Performance Improvement Quarterly* 19(3) 2006

# Eine Übervereinfachung

- Zitat F. Vester (1978!)
  - „Je mehr Arten der Erklärung angeboten werden, je mehr Kanäle der Wahrnehmung benutzt werden (wie es bei einem multimedialen Unterricht der Fall wäre), desto fester wird das Wissen verankert, desto vielfältiger wird es verankert und auch verstanden, desto mehr Schüler werden den Wissensstoff begreifen und ihn später auch wieder erinnern.“

(F. Vester, 1978, S. 51)
  - Unbelegt, teilweise sogar widerlegbar! (siehe später)
  - Übervereinfachung (und Ursache der Multimedia-Gläubigkeit?)

# 2 Physiologische und psychologische Grundlagen

2.1 Nervensystem

2.2 Gehirn

2.3 Gedächtnis: Wissen, Lernen, Vergessen 

Literatur:

Holzinger, Basiswissen Multimedia Band 2, S. 26 – 95

S. Kühnel, J. Markowitsch: Falsche Erinnerungen - Die Sünden des Gedächtnisses, Spektrum Akademischer Verlag 2009

Frederic Vester: Denken, Lernen, Vergessen, dtv 1978, 30. Auflage 2004

<http://www.stangl-taller.at/ARBEITSBLAETTER/>

<http://art2.ph-freiburg.de/incops> (Interaktives System!)

# Geschichte der Erklärung des Gedächtnisses

- Paul Broca (1824-1880): Aphasie (Sprechstörung bei teilweisem Sprachverständnis) auf physische Beschädigung von Gehirnbereichen zurückgeführt
- 50er und 60er Jahre: „Gedächtnismoleküle“
  - J. McConnell: Übertragung gelernten Verhaltens bei Plattwürmern über Verfüttern
  - „Eat your professor“ (New York Times)
- Hermann Ebbinghaus (1850-1909)
  - Empirische Gedächtnisforschung im Selbstversuch
    - » Sinnlose Silben (Logatome)
- Mehrspeichermodelle:
  - Waugh/Norman 1965 (2 Stufen)
  - Atkinson/Shiffrin 1968 (3 Stufen)
- Inhaltsbezogene Gedächtnismodelle:
  - Tulvin/Markowitsch 1998



# Exkurs: Modelle in der Naturwissenschaft

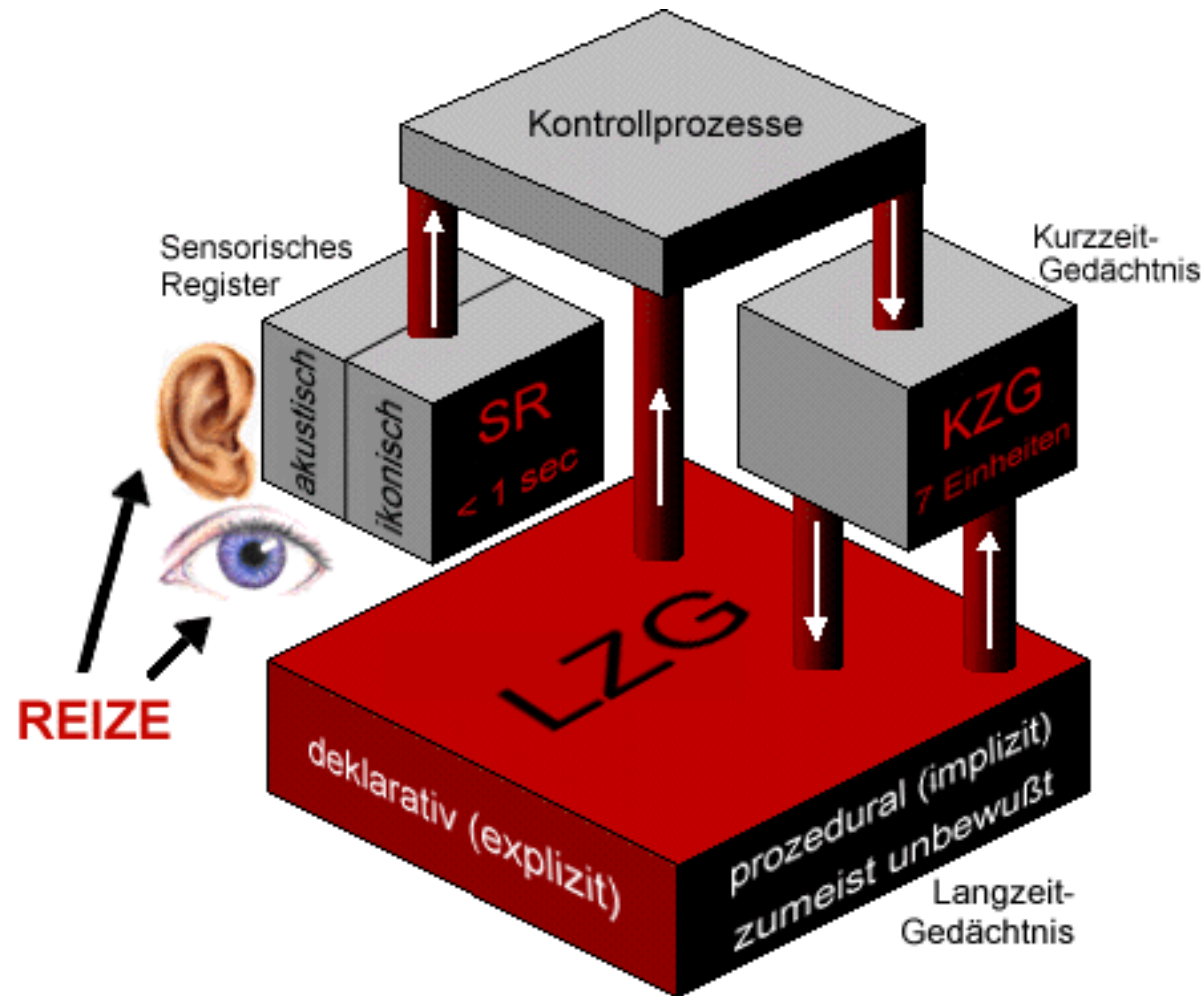
- Heinrich Hertz (1857-1894) :  
„Wir machen uns innere Scheinbilder (=Modelle) oder Symbole der äußeren Gegenstände und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die dennotwendigen Folgen der Bilder stets wieder Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.“
- Es gibt viele mögliche (richtige) Modelle für ein Phänomen.
- Die Wahl des Modells hängt von der Detaillierung der Experimente ab, deren Ergebnisse prognostiziert werden sollen.
  - Beispiel: Newtonsche Physik, Relativitätstheorie

# Ursprung der Lernerfahrung: Sinneswahrnehmung

- Eine Information in Form eines sinnlich wahrnehmbaren *Reizes* erreicht uns.
- Der Reiz kann sein:
  - visuell (sichtbar)
  - auditiv (hörbar)
  - haptisch (den Tastsinn ansprechend)
  - olfaktorisch (geruchlich)
  - gustatorisch (geschmacklich)
- Die eintreffende Informationsmenge ist von der Art des Reizes abhängig:
  - Olfaktorische Reize ca. 20 Bit pro Sekunde
  - Visuelle Reize ca. 10 Millionen Bit pro Sekunde
- Der wahrnehmbare Reiz trifft auf eine Sinneszelle, die ihn in Form eines elektrischen Erregungsimpulses ("Spike") an eine Nervenzelle und ihre Nervenfaserverbindung, die Synapse, weitergibt
- Gedächtnis: Strukturveränderungen auf synaptischer Ebene

# Gedächtnismodell

Modell von Atkinson/Shiffrin  
nach Gerd Mietzel



Bildquelle: <http://www.regiosurf.net/supplement>

# Ultrakurzzeitgedächtnis (UKZ)

- Auch „Sensorisches Register“ (SR) genannt, engl. *sensory memory*
- Filterfunktion:
  - Nur ausgewählte Informationen gelangen in die nächste Stufe (KZG)
- Filterkriterien: Weitergeleitet wird, wenn...
  - Explizite Aufmerksamkeit auf bestimmte Reize
  - Bedeutungszuschreibung (Resonanz)
- Kontinuitätsgefühl, aber schneller Zerfall
  - Nutzung z.B. für Bewegungsillusion in Film, TV
- Kapazität (Sperling):
  - Ca. 9 Wörter, 0,5 s visuell, mehrere Sekunden auditiv

# Beispiel zum Ultrakurzzeitgedächtnis

- Rugbyspieler, gefoult
  - Aussage *unmittelbar nach dem Foul* (< 20 Sekunden)
  - Aussage *nach mehreren Minuten*
  - Spätere Aussage unmöglich
- Wenn innerhalb 20 Sekunden befragt:
  - Auch spätere Wiedergabe kein Problem!
- (nach Vester S. 61)

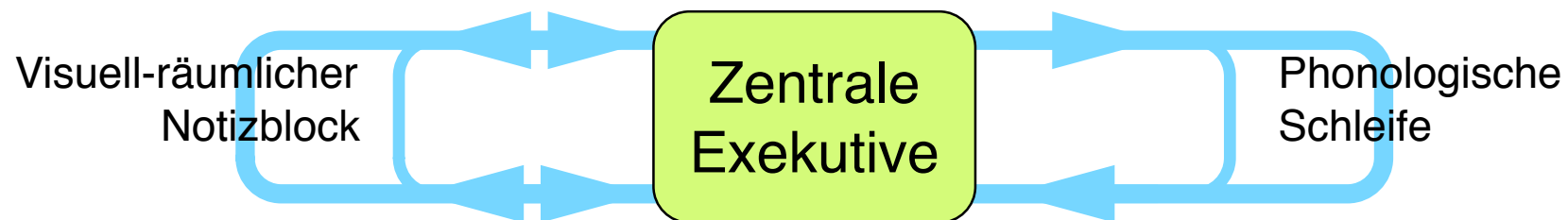


# Kurzzeitgedächtnis (*Short Term Memory*)

- Speicherzeit einige Sekunden bis wenige Minuten
  - Verfällt, wenn dann nicht in Langzeitgedächtnis übernommen
  - Achtung anderer Sprachgebrauch als in der Alltagssprache!
- Kapazität: Ca. 7 „Chunks“
  - Miller (1956): „The magical number seven - plus or minus two“
  - Neuere Untersuchungen (Cowan 2001): Eher kleinere Zahl, mind. 4
- Chunks:
  - Verschieden je nach Erfahrungshintergrund
  - Beispiele:
    - » Wort in bekannter oder unbekannter Sprache
    - » 149162536496481
    - » 19501955196019651970
- Übernahme in Langzeitgedächtnis verbessert durch Wiederholen
- Übernahme blockiert durch Schock

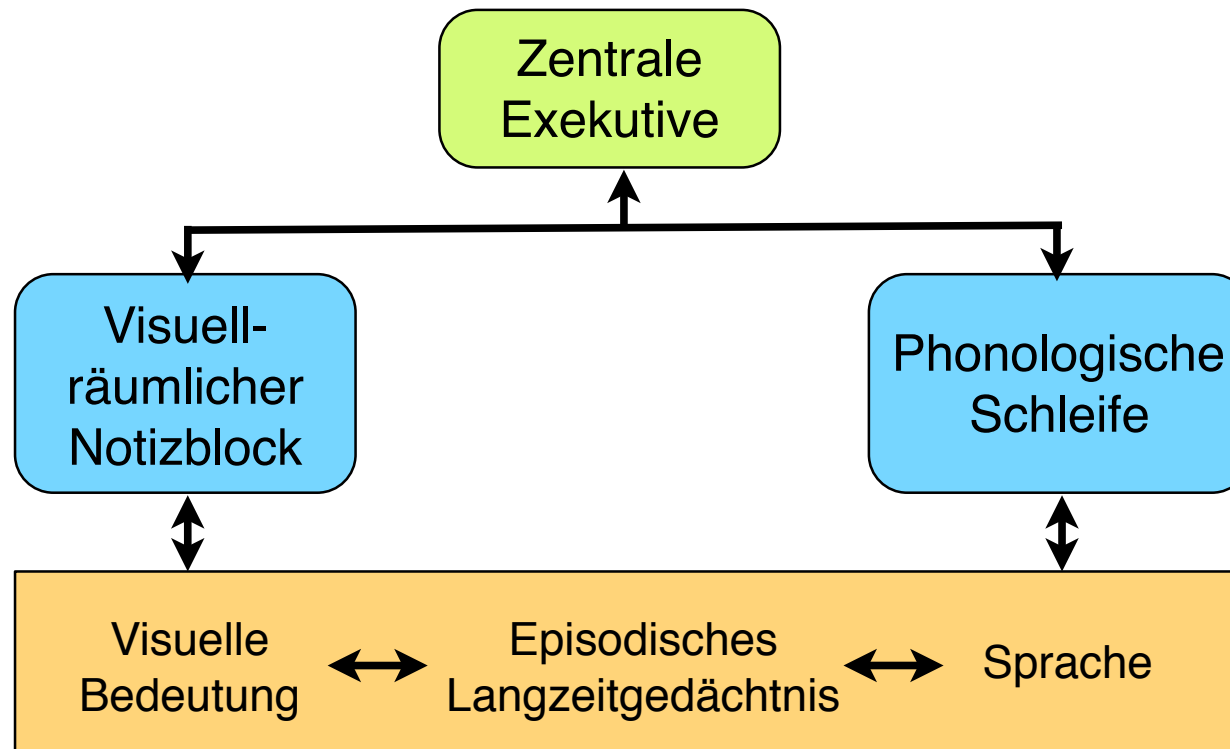
# Arbeitsgedächtnis

- Baddeley/Hitch 1974: „Arbeitsgedächtnis“ (*working memory*)
  - Eng verbunden mit dem Kurzzeitgedächtnis
  - Bildet Brücke zum Langzeitgedächtnis
- Elemente:
  - Phonologische Schleife (*phonological loop*)
  - Visuell-räumlicher Notizblock (*visual-spatial sketchpad*)
  - Zentrale Exekutive (*central executive*)
    - » Überwacht und steuert die beiden anderen Systeme
    - » Aufmerksamkeitssteuerung



# Episodischer Zwischenpuffer

- Baddeley 2000: Episodischer Zwischenpuffer verknüpft die Informationen der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks mit episodischen Informationen aus dem Langzeitgedächtnis
  - Erklärung für Bestimmung von Chunks, Beispiel: „bkatüvddrsz“

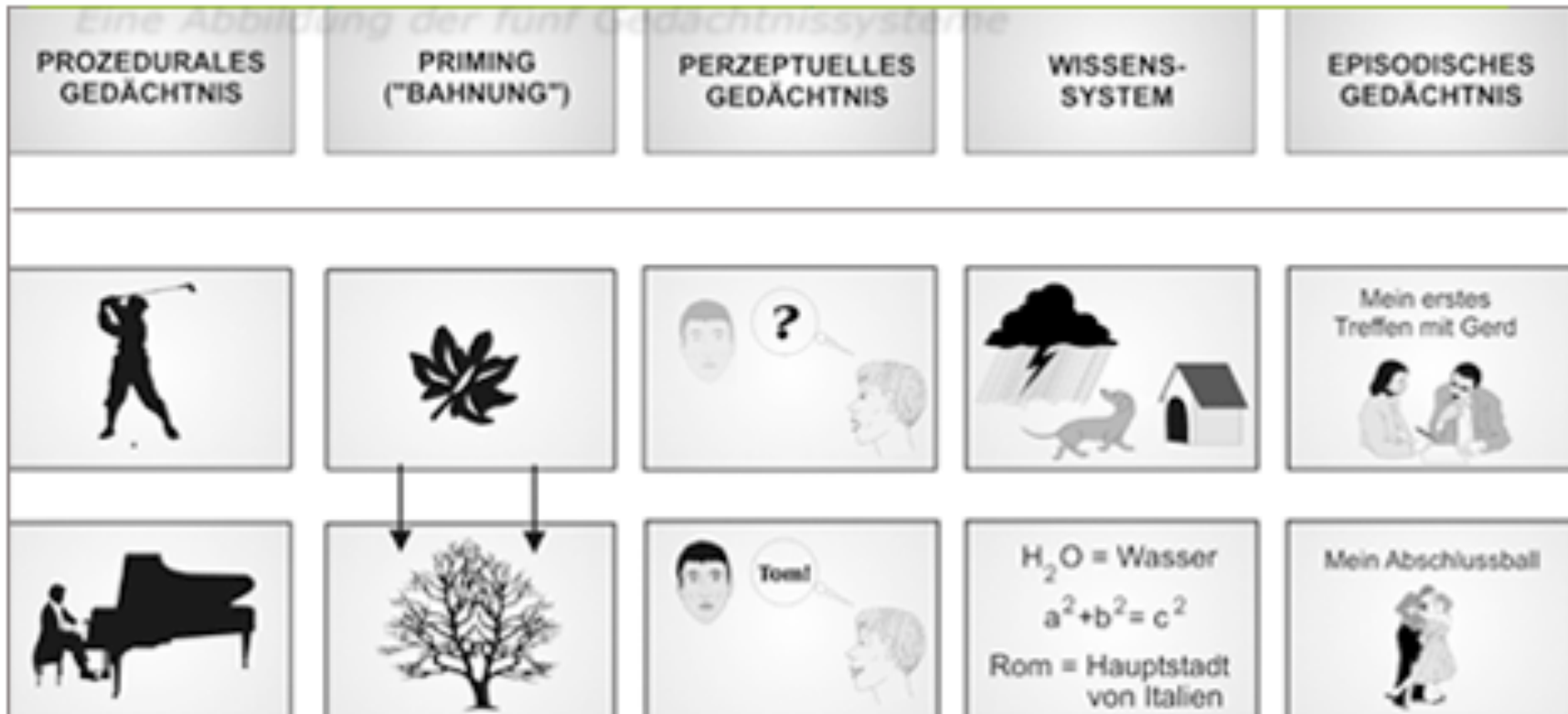




# Langzeitgedächtnis

- In Form verbaler Kodierung aufgebauter Speicher
  - Erfahrungen, Informationen, Emotionen, Fertigkeiten, Wörter, Kategorien, Regeln, Urteile usw.
  - Wissen eines jeden Menschen über sich selbst und die Welt
- Kapazität praktisch unbegrenzt
- Dauerhafte Speicherung, nur spätere *Abrufprobleme*
  - *Explizit (deklarativ)*: Bewusstes Erinnern
  - *Implizit*: Unbewusste Verhaltensänderung
- Speicherung stark inhaltlich orientiert, assoziativ
- Erinnern ist immer *Rekonstruktion* (oft verfälscht)

# Arten des Langzeitgedächtnisses



Fünf Langzeitgedächtnissysteme nach Pritzel, Brand und Markowitsch 2003  
Bildquelle Uni Bielefeld

# Bewusstheit von Wissensseinheiten

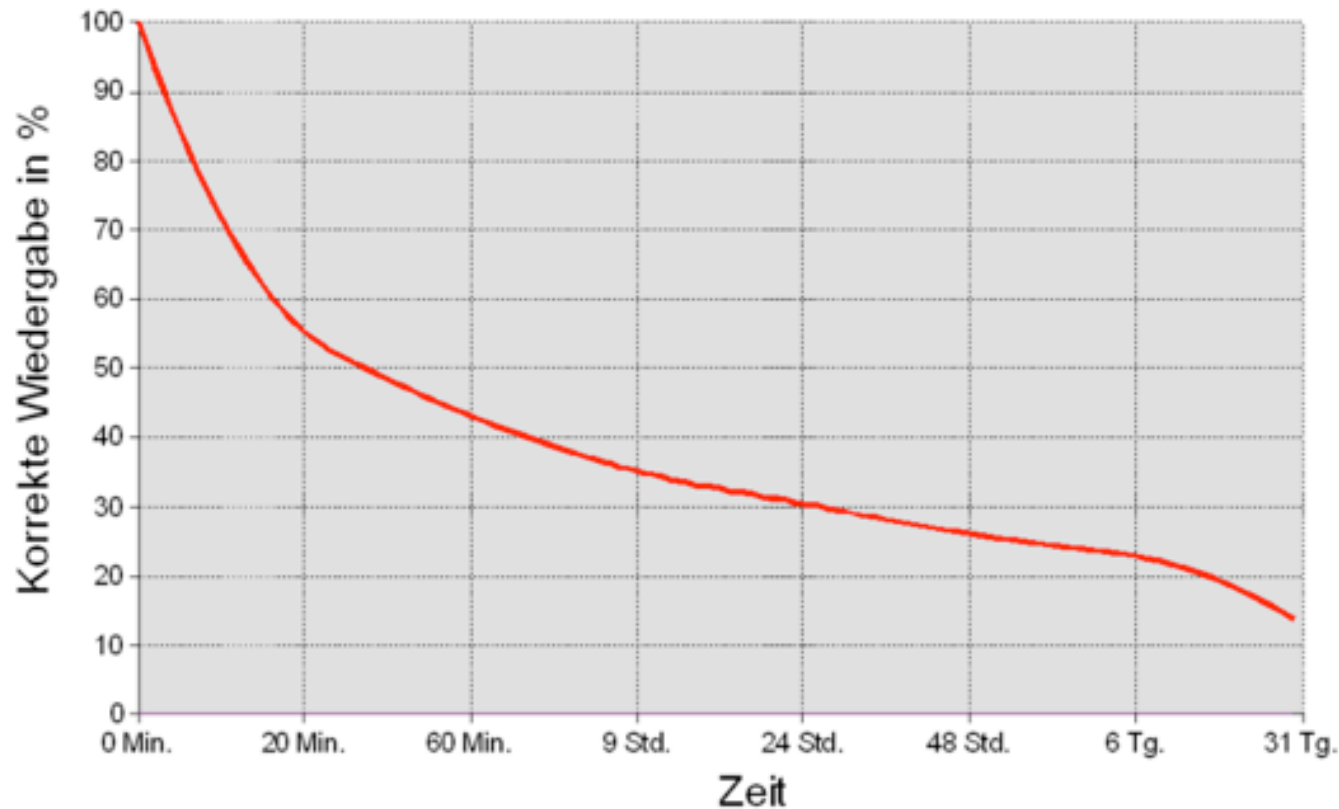
- Unbewusst (anoetisch):
  - Flache Verarbeitung von Informationen
  - Häufige Wiederholung
  - Im prozeduralen Gedächtnis
  - Beim Priming  
(Bewusstes Wahrnehmen von zuvor unbewusst Wahrgenommenem)
- Bewusst (noetisch):
  - Tiefe Verarbeitung
  - Beim Weltwissen (semantisches Gedächtnis)
  - Beim episodischen Gedächtnis
- Zwischenstufe „perzeptuelles Gedächtnis“ (eher bewusst)
  - Zuordnung eine Wahrnehmung aufgrund von unbewusst früher wahrgenommenen Details

# Theorien des Vergessens

- Theorie des Spurenverfalls
  - Verblässen von Information
  - Genauer Vorgang ungeklärt
- Interferenztheorie
  - Überlagerung und Blockade durch neue (ähnliche) Information
    - » Retroaktiv (später Gelerntes stört früher Gelerntes)
    - » Proaktiv (früher Gelerntes stört später zu Lernendes)
    - » Misslingen des Abrufs: Abrufreiz (Kontext) fehlt („auf der Zunge haben“)  
*(tip-of-the-tongue (TOT) blocking)*
    - » Motiviertes Vergessen (Verdrängung aus dem Bewusstsein)
- Spurenverfall empirisch kaum nachzuweisen
  - Mit passenden Abrufreizen kann man sich an extrem viel erinnern

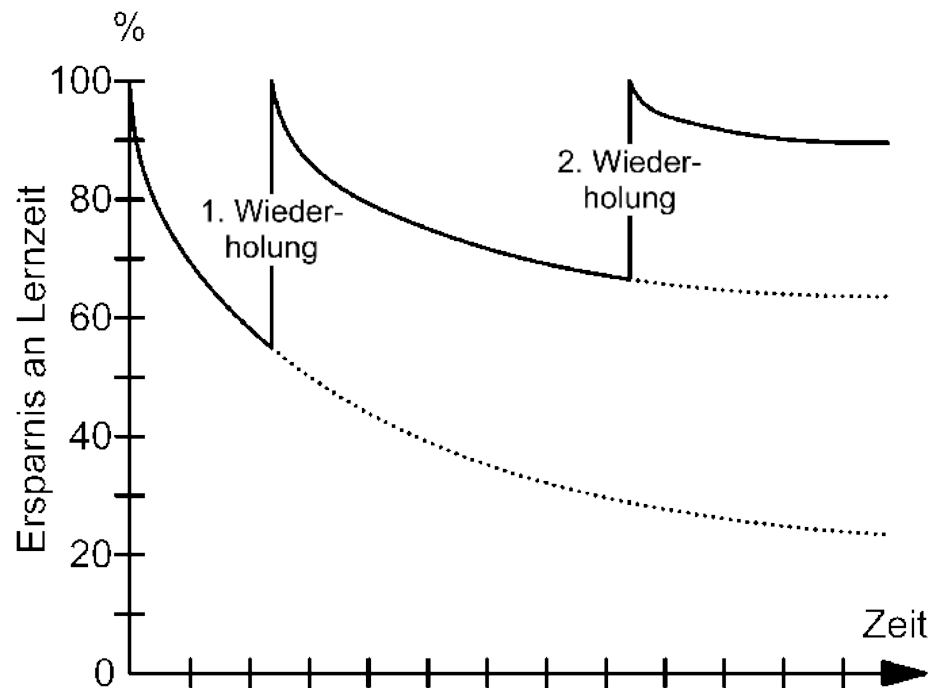
# Vergessenskurve nach Ebbinghaus (1885)

- Wie schnell verschwindet gelerntes Wissen, wenn keine Maßnahmen zur Konsolidierung getroffen werden?
- Prüfung nach 30 Minuten: 50% des neuen Wissens verloren!



# Strategien gegen das Vergessen

- „Überlernen“: Massive Wiederholungen im Anschluss an Lernphase
  - Wirksam, aber nicht die effizienteste Methode
- Rhythmische Wiederholung:
  - Wechsel zwischen inaktiven Phasen und (kurzer) Wiederholung
  - Wiederholungen nur bis Stoff „gerade wieder 100% beherrscht“
  - Abstand der Wiederholungen schrittweise verlängert



Quelle: Werner Stangl