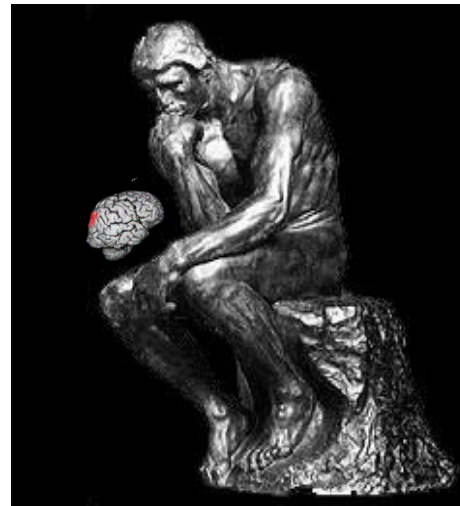


Modul A1 (SS 2013)

VL Kognitionspsychologie: Denken, Problemlösen, Sprache

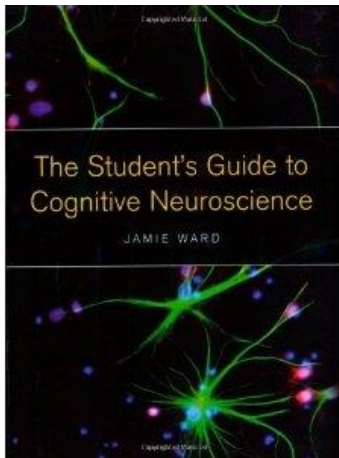
Methoden der Kognitiven Neurowissenschaft: Kurze Einführung in die funktionelle Bildgebung

Thomas Goschke

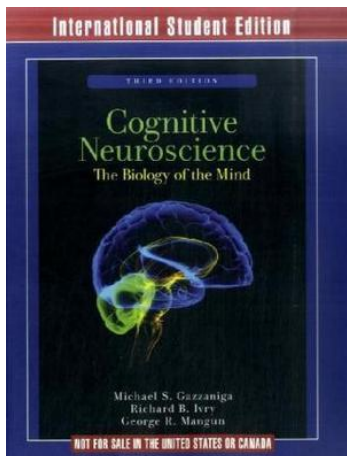


Literaturempfehlungen

Zwei Lehrbücher mit gut verständlichen Überblickskapiteln zu den wichtigsten Bildgebungsmethoden

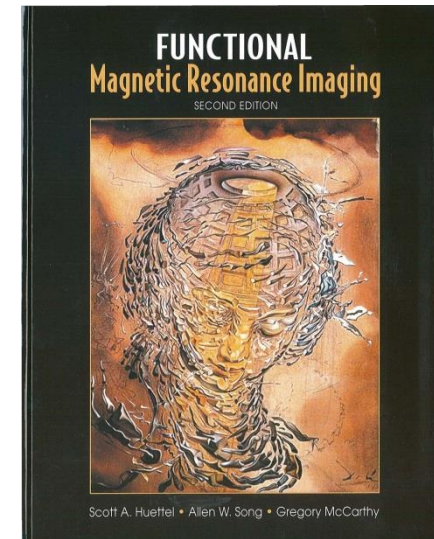


Ward, J. (2010). *The Student's Guide to Cognitive Neuroscience 2nd Edition*. Taylor & Francis Ltd.



Gazzaniga, M., Ivry, R. & Mangun, R. (2009). *Cognitive neuroscience. The biology of the mind* (3rd ed.). Norton.

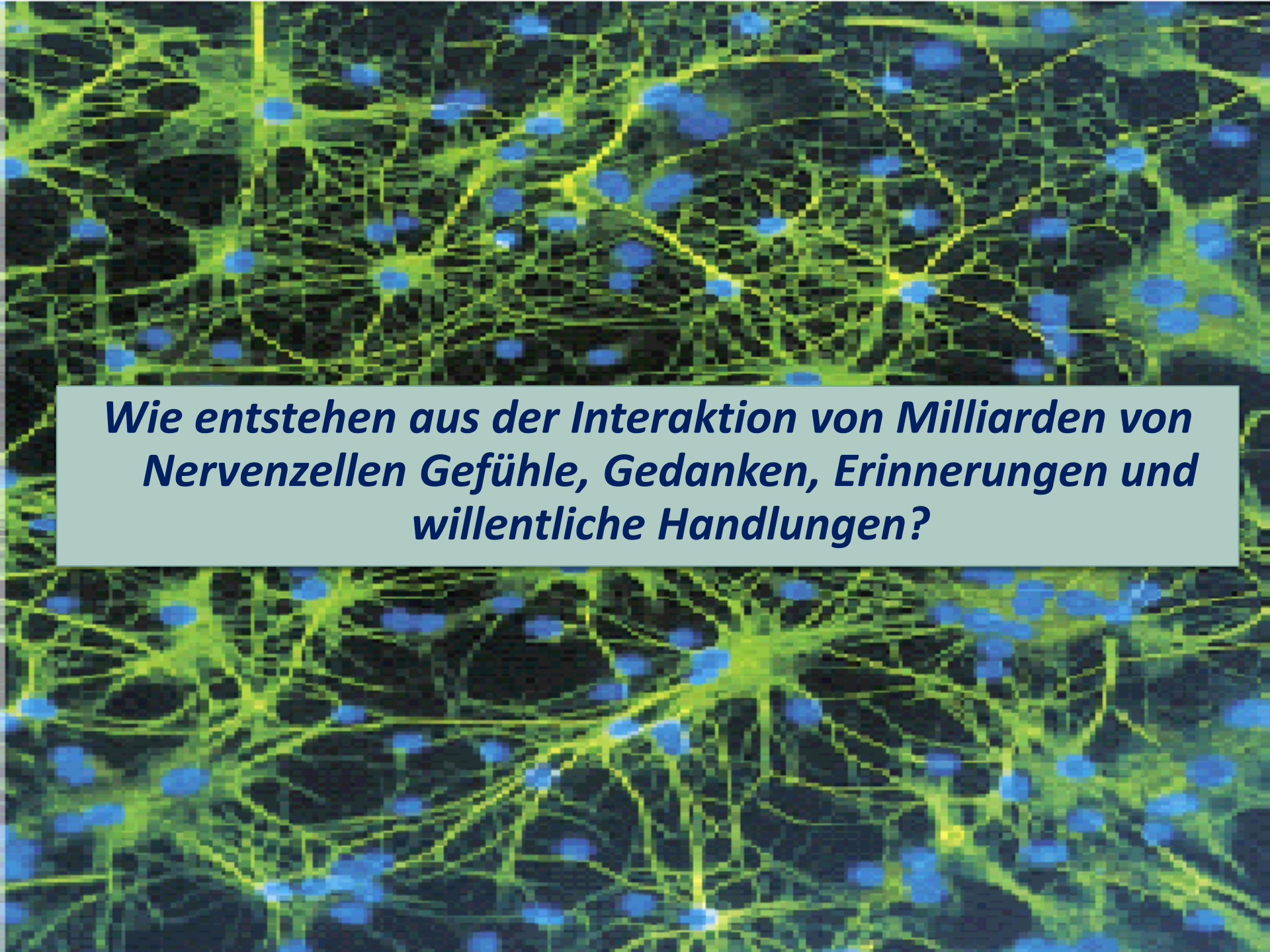
Lehrbuch speziell zur fMRT (nicht prüfungsrelevant für das Bachelor-Modul, aber gut zur Vertiefung / zum Nachschlagen)



Huettel, S.A., Song, A.W., & McCarthy, G. (2009) (2nd. Ed.) *Functional magnetic resonance imaging*. Sinauer.

Brain Reading?

- Kann man aus der Gehirnaktivität erschließen, woran jemand denkt?
- Was messen Techniken wie fMRT eigentlich genau?
- Was sind Vorteile und Grenzen verschiedener Methoden?



Wie entstehen aus der Interaktion von Milliarden von Nervenzellen Gefühle, Gedanken, Erinnerungen und willentliche Handlungen?

Gehirn und Geist:

Der Ansatz der Kognitiven Neurowissenschaft

■ Ziel

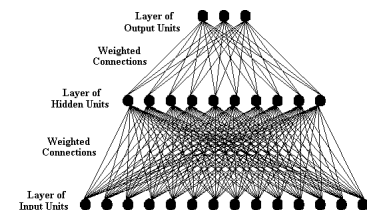
- Zu erklären, wie mentale Prozesse (Wahrnehmen, Denken, Erinnern, Entscheiden etc.) im Gehirn “implementiert” sind

■ Methodische Grundlage

- Technologische Fortschritte in der Untersuchung neuronaler Prozesse (insb. nicht-invasive bildgebende Verfahren)

■ Interdisziplinäre Zusammenarbeit

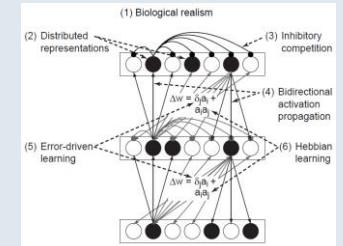
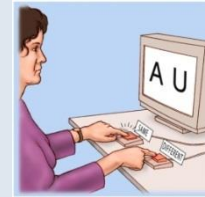
- Experimentelle Psychologie
- Neurowissenschaften
- Molekulargenetik
- Komputationale Modellierung
- Philosophie des Geistes



Integration multipler Beschreibungsebenen

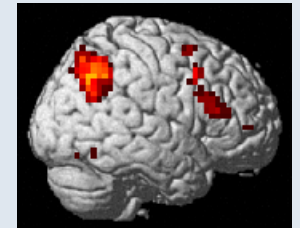
Behavioral and information-processing level

- Analyses of cognitive task performance
- Models of underlying computational mechanisms



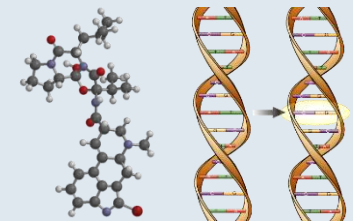
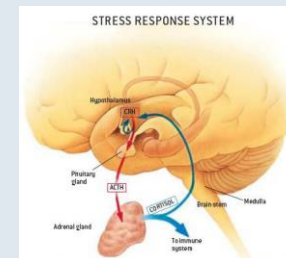
Neural systems level

- fMRI; EEG; TMS
- Large-scale brain systems interactions

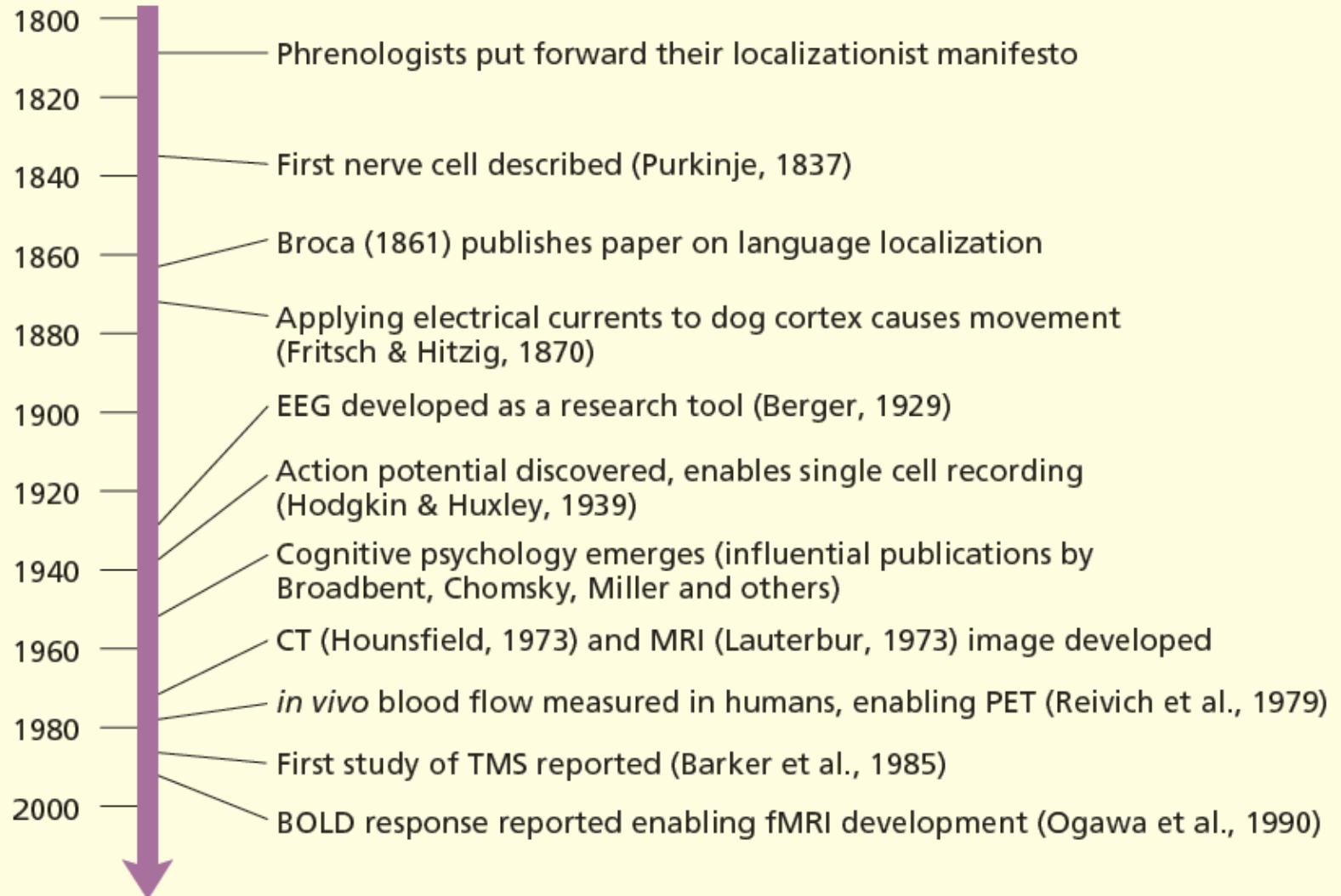


Molecular Level

- Neuromodulatory and neuroendocrine systems
- Pharmacological neuroimaging; PET;
- Genetic variation



Kurze Geschichte der Kognitiven Neurowissenschaft

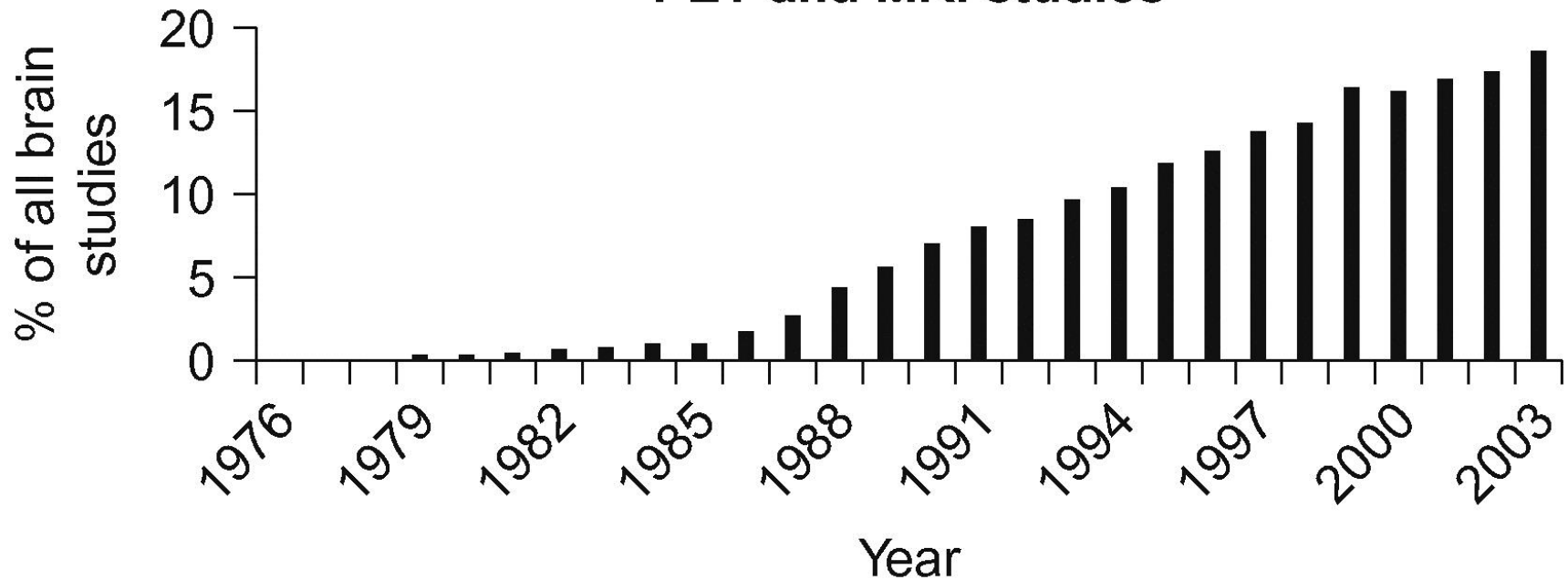


Forschritte in funktionellen Bildgebungsmethoden und die Geburt der modernen Kognitiven Neurowissenschaft

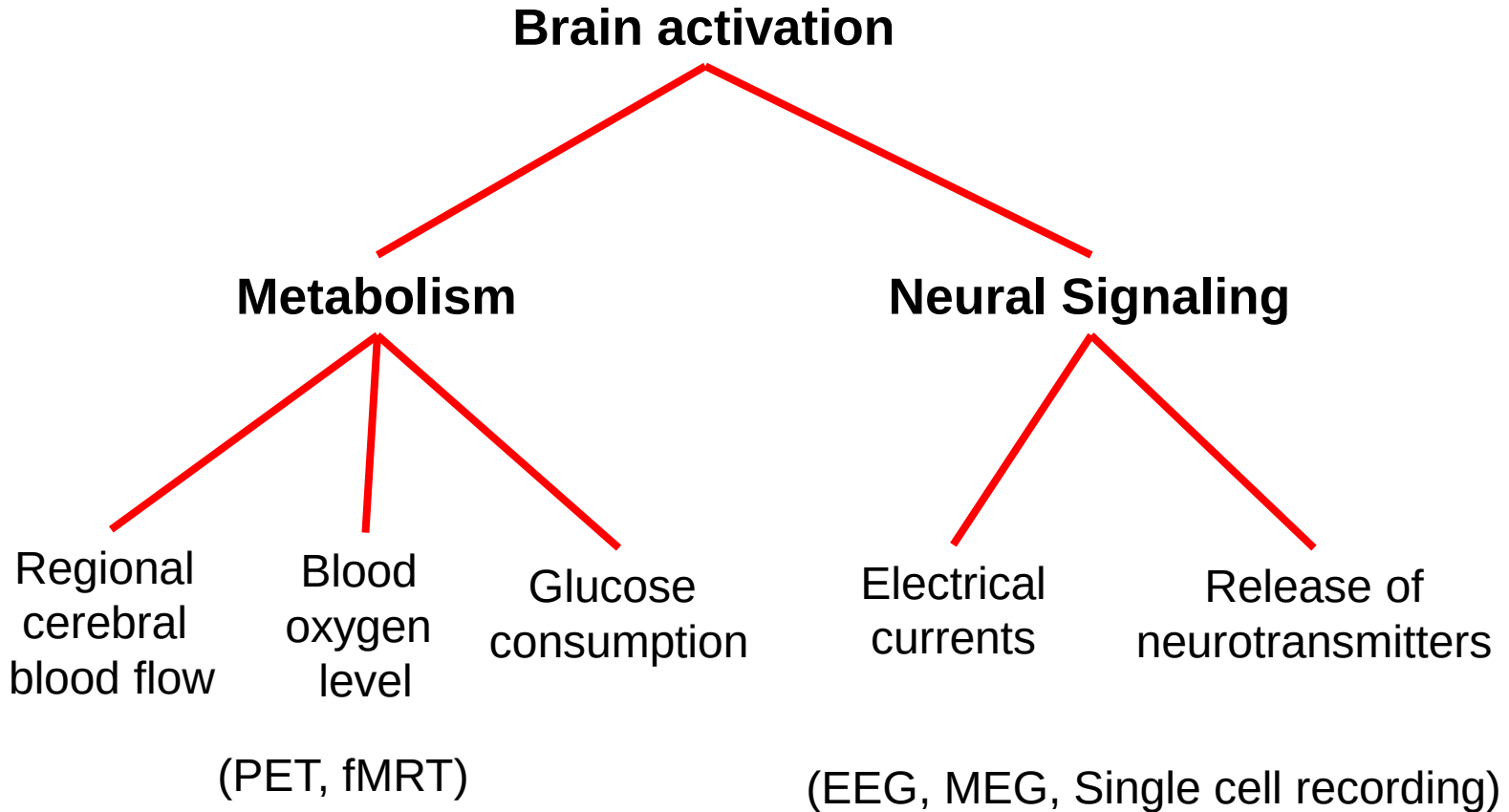
- 1970s: strukturelle Bildgebungsmethoden (CT, MRT) ermöglichen präzise Bilder des Gehirns (und von Gehirnläsionen)
- 1980s: PET wird erstmals eingesetzt, um kognitive Prozesse mittels kognitionspsychologischer Aufgaben zu untersuchen
- 1985: TMS wird eingesetzt um temporäre “künstliche” Läsionen zu erzeugen
- 1990: fMRT: Level der Oxygenisierung des Bluts in bestimmten Gehirnregionen wird als Indikator für neuronale Aktivität während perzeptueller / kognitiver Leistungen eingesetzt

Der Aufstieg bildgebender Verfahren

PET and MRI studies



Neuroimaging and electrophysiological methods



Indirect signals are produced by brain metabolism and blood flow (glucose and oxygen for MRI/fMRI), and radioactive tracers (PET).

Direct brain signals are usually electromagnetic. (EEG, MEG, single-cell electrical recording, direct stimulation of neurons).

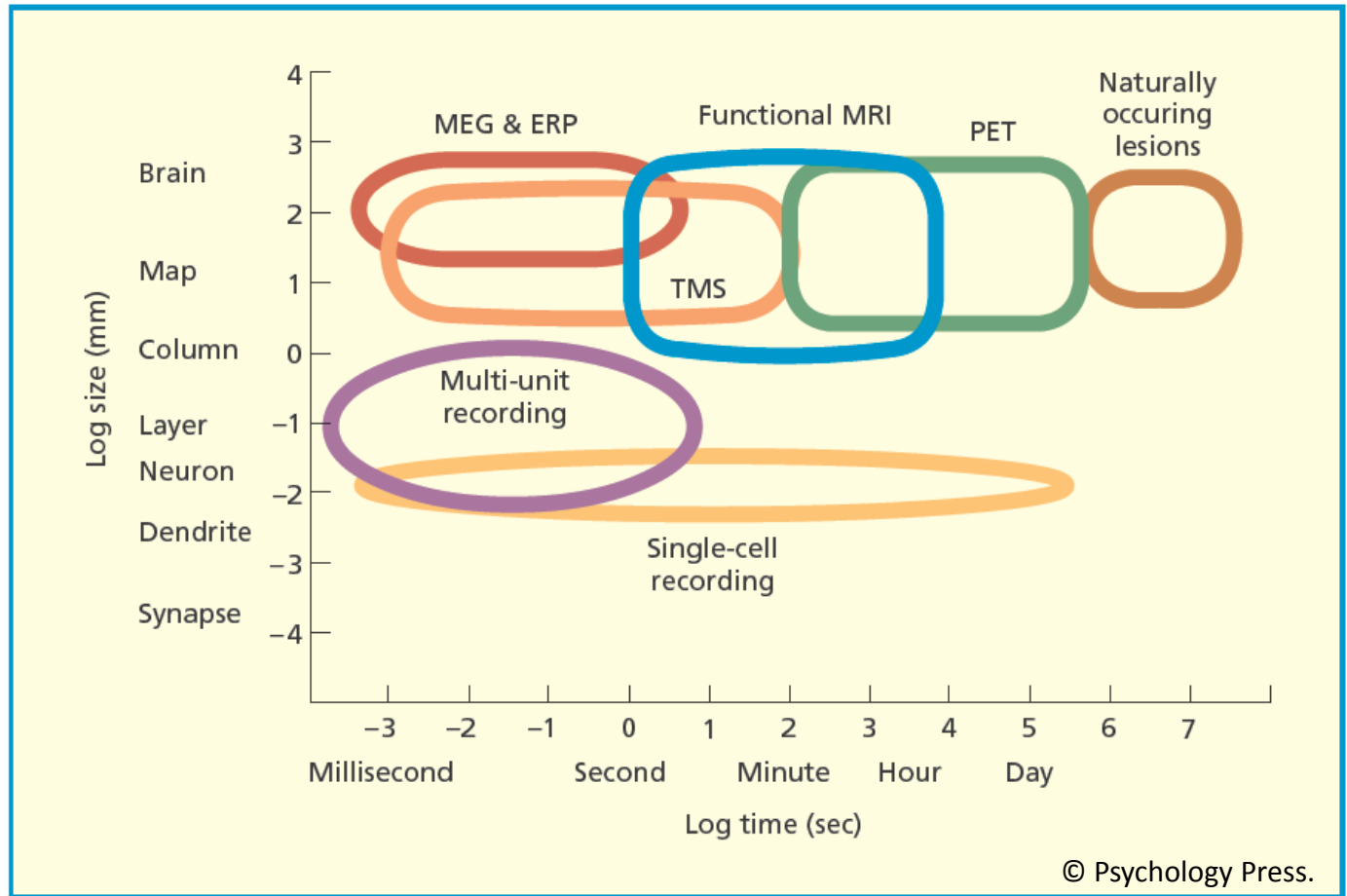
Methoden der Kognitiven Neurowissenschaft

THE DIFFERENT METHODS USED IN COGNITIVE NEUROSCIENCE

Method	Method type	Invasiveness	Brain property used
EEG/ERP	Recording	Non-invasive	Electrical
Single-cell (and multi-unit) recordings	Recording	Invasive	Electrical
TMS	Stimulation	Non-invasive	Electromagnetic
MEG	Recording	Non-invasive	Magnetic
PET	Recording	Invasive	Hemodynamic
fMRI	Recording	Non-invasive	Hemodynamic

Methoden der Kognitiven Neurowissenschaft

- Temporal resolution
- Spatial resolution
- Invasiveness

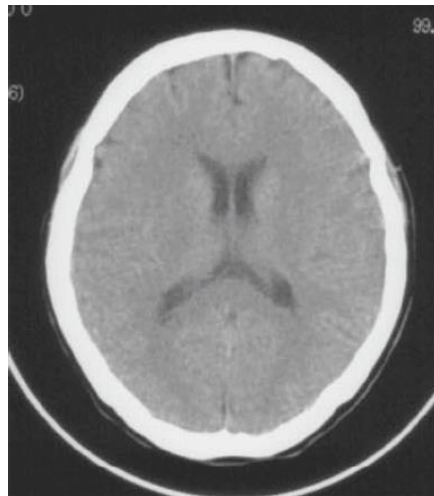


Strukturelle Bildgebung

- Beruht auf unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften unterschiedlicher Gewebearten (Knochen, graue vs. weiße Substanz, cerebrospinale Flüssigkeit)
- Liefert statisches “Bild” des physikalischen Struktur des Gehirns

Computertomographie (CT):

Basiert auf unterschiedlicher Absorption von Röntgenstrahlen in Geweben unterschiedlicher Dichte

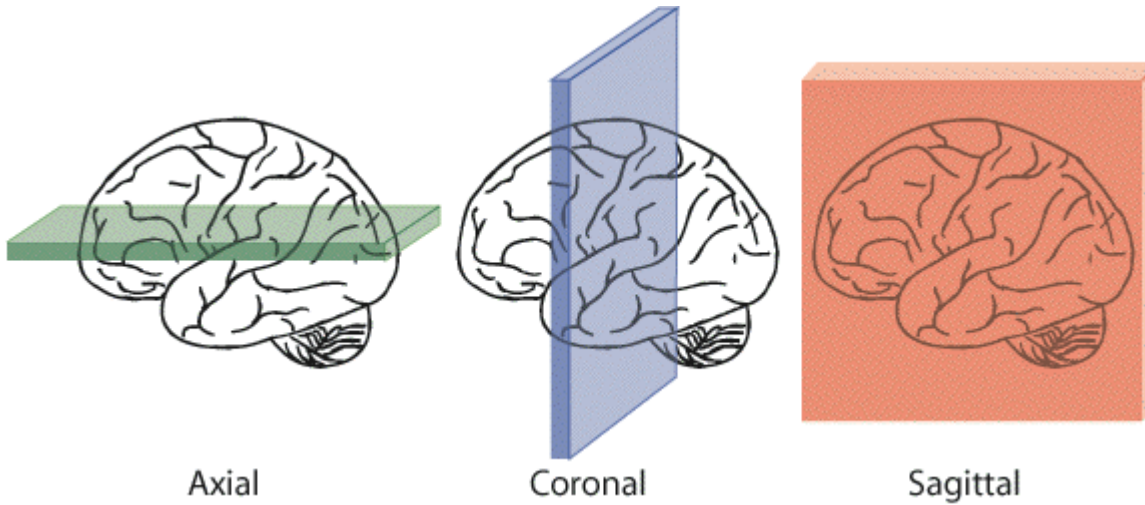


Magnetresonanztomographie (MRT):

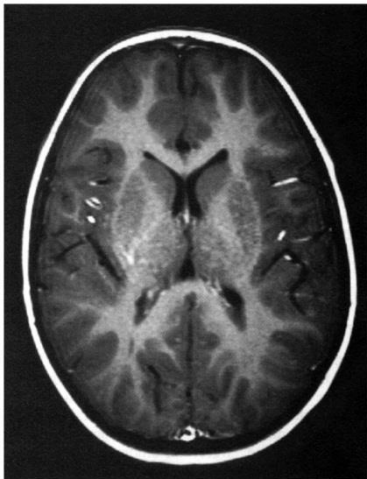


- basiert auf Prinzipien der Kernspinresonanz
- erzeugt Schnittbilder des Körpers
- Vorteile
 - Nicht invasiv
 - Bessere räumliche Auflösung
 - Bessere Unterscheidung zwischen weißer und grauer Substanz

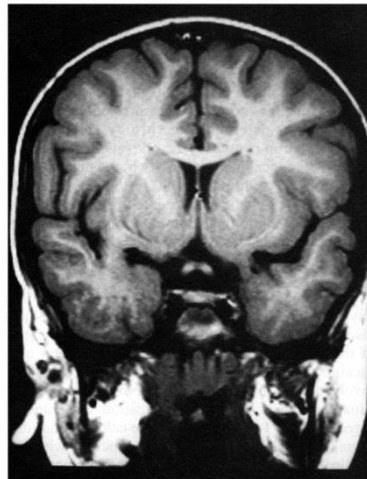
Strukturelle MRT



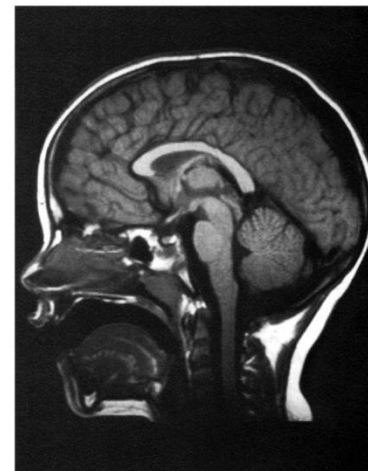
Transversal (axial)



Coronal

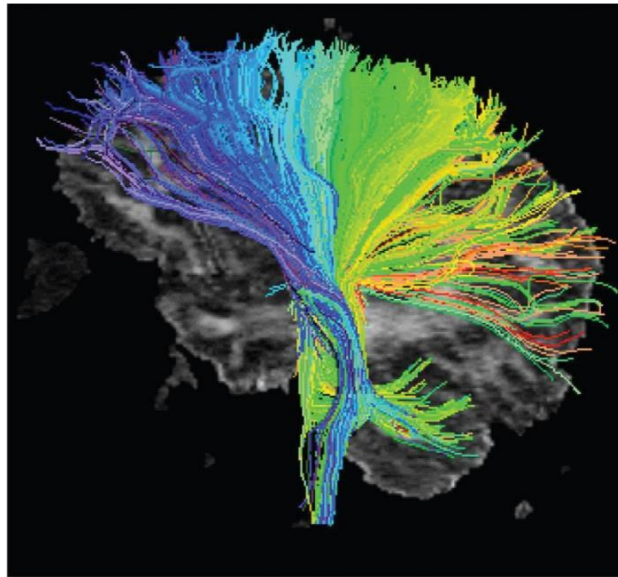


Sagittal

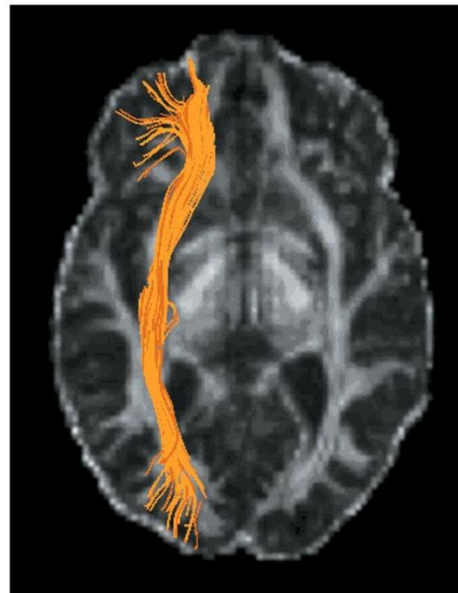


Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI)

- Stellt Diffusionsbewegung von Wassermolekülen im Gewebe räumlich dar
- Wasser-Moleküle können sich im Gehirn nicht beliebig bewegen (Isotropie), sondern Bewegung wird u.a. durch Zellmembranen eingeschränkt (Anisotropie)
- Moleküle können sich in myelinisierten Nervenfaserbündeln entlang der Axone ungehinderter bewegen als quer zu ihnen.
- Aus Diffusionsverhalten kann auf Verlauf großer Nervenfaserbündel geschlossen werden

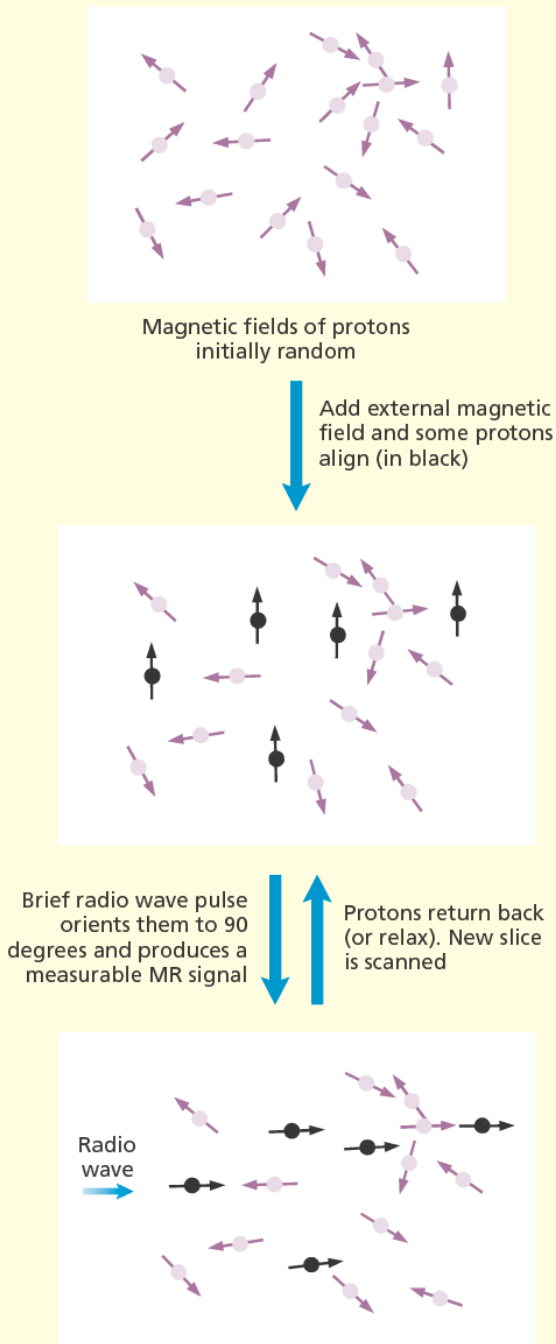


Source: Maria Lacer, with permission



fronto-occipitaler
Fasciculus, der
visuellen Kortex mit
dem Frontallappen
verbindet

Grundprinzip der Magnetresonanz



- Protonen in Wasserstoffmolekülen haben Eigendrehimpuls (Kernspin), dessen Orientierung normalerweise zufällig ist
- In einem starken statischen Magnetfeld richtet Teil der Protonen parallel zum Magnetfeld aus → longitudinale Magnetisierung
- Hochfrequente Radiowellen werden durch dieses Magnetfeld geschickt → Magnetisierung kippt um 90 Grad in transversale Magnetisierung
- Abschalten des hochfrequenten Wechselfeldes → Spins richten sich wieder parallel zum statischen Magnetfeld aus → transversale Magnetisierung nimmt wieder ab („Relaxation“)
- Induziert ein elektromagnetisches Signal, das von Detektoren rund um den Kopf aufgezeichnet wird
- Scanner wiederholt diesen Prozess, so dass unterschiedliche Schichten des Gehirns angeregt werden („echo planar imaging“: ca. 2 Sek für ganzes Hirn mit 3 mm Schichten)
- Relaxationszeiten unterscheiden sich je nach Gewebe → verschiedene Signalstärken (Helligkeiten) (sog. T1-gewichtete Bilder)
- Relaxation wird auch durch lokale Wechselwirkungen zwischen Molekülen beeinflusst (T2) und Deoxyhemoglobin stört diesen Prozess → Basis für funktionelle MRT Bilder (T2*)

Funktionelle Bildgebung

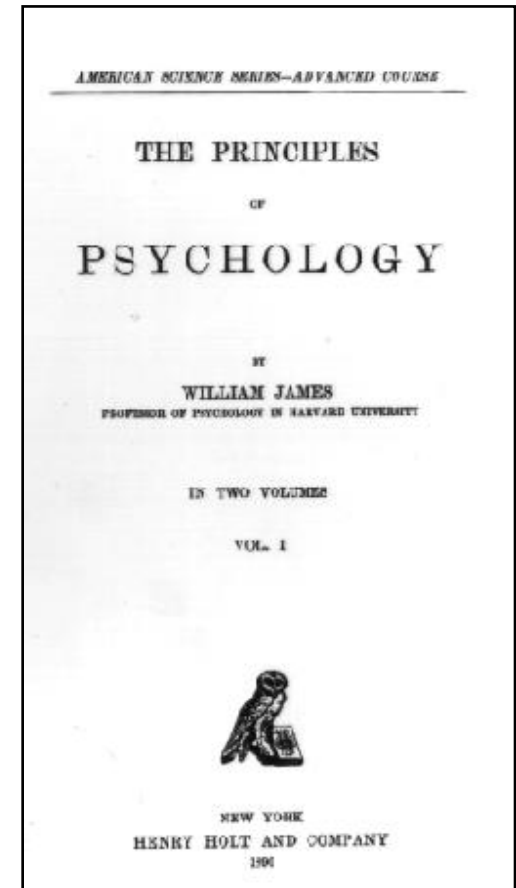
- Das Gehirn
 - verbraucht ca. 20% des aufgenommenen Sauerstoffs
 - speichert keinen Sauerstoff und nur wenig Glukose
 - Notwendige Energie wird über lokale Durchblutung bereit gestellt
- Neuronale Aktivität erhöht den Sauerstoffverbrauch → Zur Kompensation wird mehr Blut in aktive Regionen gepumpt
- Funktionelle Bildgebung
 - Messung von Fluktuationen metabolischer Prozesse, die mit neuronalen Prozesse korreliert sind, die ihrerseits mit kognitiven Prozessen zusammenhängen
 - PET: misst regionalen Blutfluss
 - fMRI: misst Sauerstoffkonzentration im Blut
- Metabolische Prozesse sind langsam (mehrere Sekunden) → schlechte zeitliche (aber gute räumliche) Auflösung von PET und fMRT

Funktionelle Bildgebung: Frühe Ideen



„We must suppose a very delicate adjustment whereby the circulation follows the needs of the cerebral activity. Blood very likely may rush to each region of the cortex according as it is most active, but of this we know nothing. I need hardly say that the activity of the nervous matter is the primary phenomenon, and the afflux of blood its secondary consequence.”

William James (1890). *Principles of Psychology*, Vol. 1 (p. 98).



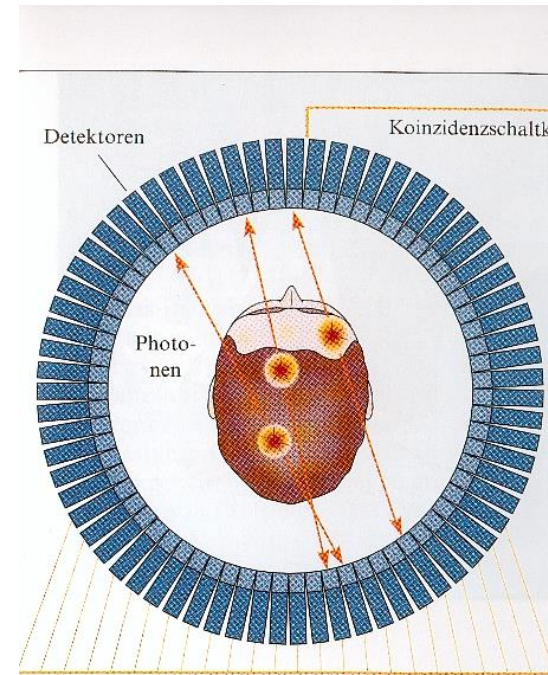
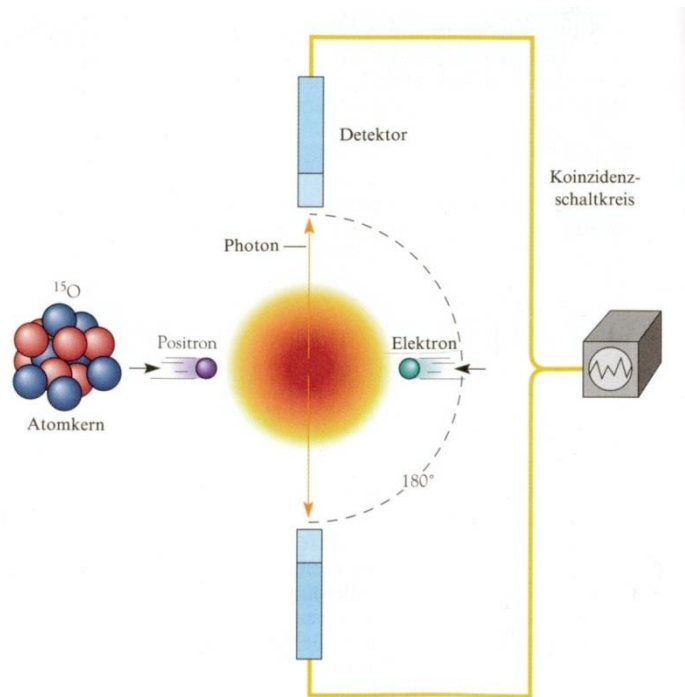
Funktionelle Bildgebung

- Das Gehirn ist ständig aktiv und benötigt stetige Versorgung mit Blut und Sauerstoff
- Um auf funktionelle Aktivierung zu schließen, muss man relative Unterschiede in der Hirnaktivität zwischen experimentellen Bedingungen vergleichen (→ Subtraktionsmethode)
- “Region X zeigt erhöhte Aktivierung / ist aktiv” = sie erzeugt größeres Signal in der Experimentalbedingung als in der Kontrollbedingung
- Ob Aktivierung sinnvoll interpretierbar ist, hängt entscheidend von der Wahl sinnvoller Vergleichsbedingungen ab!
- Daher ist *psychologisches* Wissen über experimentelle Aufgaben und die beteiligten kognitiven Prozessen essentiell für die funktionelle Bildgebung

Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

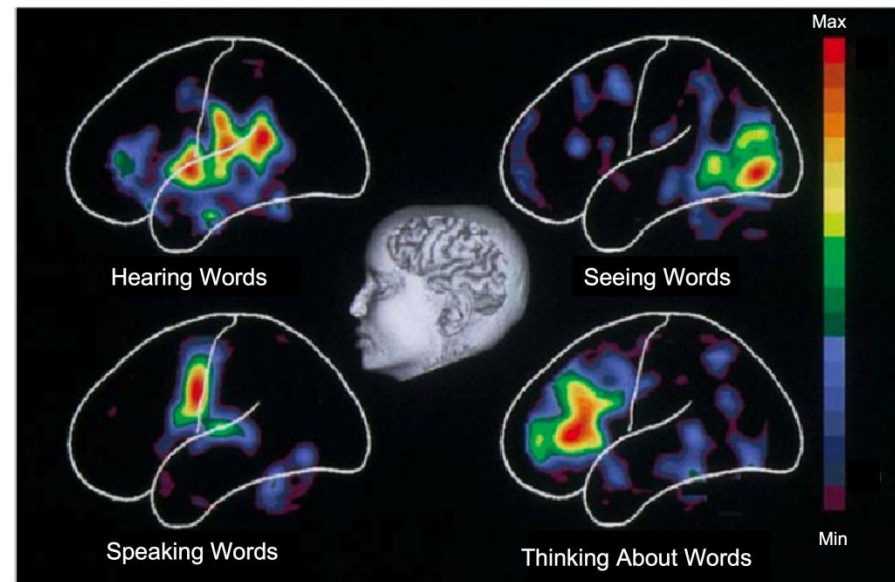
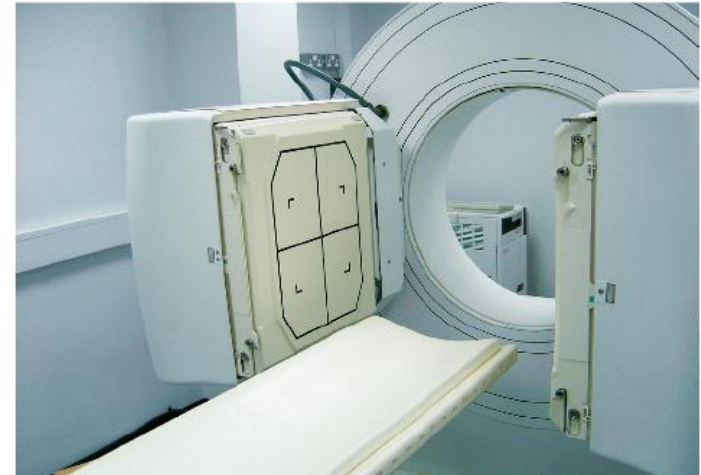
Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

- Radioaktiver Tracer wird ins Blut injiziert (z.B. Wasser, das mit einem radioaktiven Sauerstoff-Isotop ^{15}O markiert ist)
- Isotop emittiert Positronen, die mit Elektronen kollidieren → zwei Photonen (Gammastrahlen) werden in entgegengesetzter Richtung ausgesandt
- PET-Scanner misst diese Strahlen und registriert Koinzidenzen zwischen je gegenüberliegenden Detektoren
- Aus raum-zeitlicher Verteilung der registrierten Zerfallsereignisse wird auf räumliche Verteilung des Radiopharmakons im Gehirn geschlossen und Serie von Schnittbildern errechnet.



Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

- Ist älter als fMRT
- Liefert Messung der regionalen Hirndurchblutung (regional cerebral blood flow; *rCBF*)
- Teuer
- Invasiv (Injektion eines radioaktiven Tracers)
- Langsam (Darbietungsdauer 20-30 Minuten).
- Hat viele wichtige Ergebnisse geliefert
- Wird aktuell relativ selten in Forschung verwendet, ist aber noch immer wichtige Methode für bestimmte Anwendungen (z.B. Untersuchung bestimmter Neurotransmittersysteme)

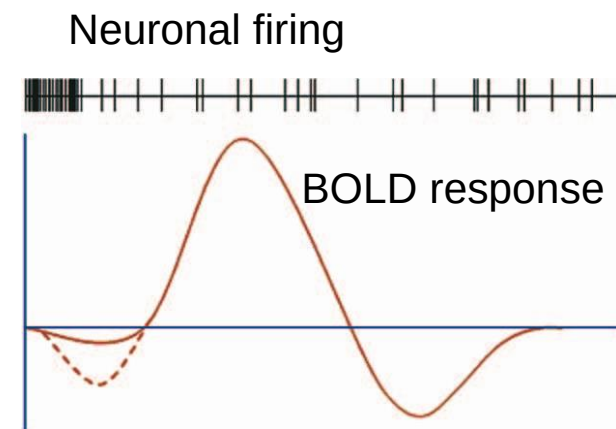
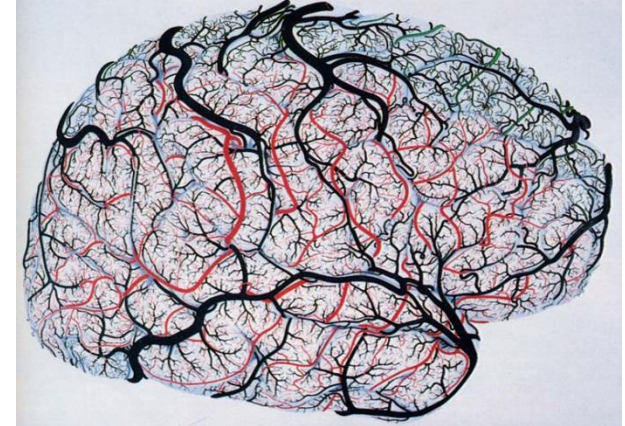


Funktionelle Magnetresonanztomografie

fMRT: Grundprinzip

Aktiven Hirnregionen wird Energie über das vaskuläre System zugeführt

- In den letzten zehn Jahren hat MRT PET als präferierte Methoden der funktionellen Bildgebung abgelöst
- fMRT kombiniert hochauflösende anatomische “Bilder” mit funktionellen Scans, die hämodynamische Aktivität registrieren
- Basiert auf Annahme, dass neuronale Aktivität die Zufuhr sauerstoffhaltigen Bluts in aktive Gehirnregionen erhöht
- Erhöhter Sauerstoffgehalt verändert magnetische Eigenschaften des Blutes → Grundlage des BOLD-Signals (blood oxygen dependent level contrast)
- Hämodynamische Antwort ist langsam (Peak bei 6 bis 10 Sek.)



fMRT

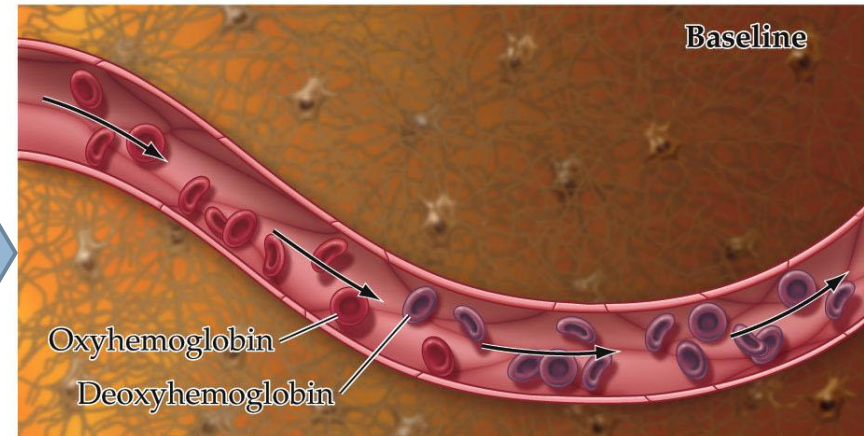
Aktiven Hirnregionen wird Energie über das vaskuläre System zugeführt

Geringe neuronale Aktivität



Oxygen wird aus roten Blutkörperchen in den Kapillaren extrahiert

(B)



Hohe neuronale Aktivität

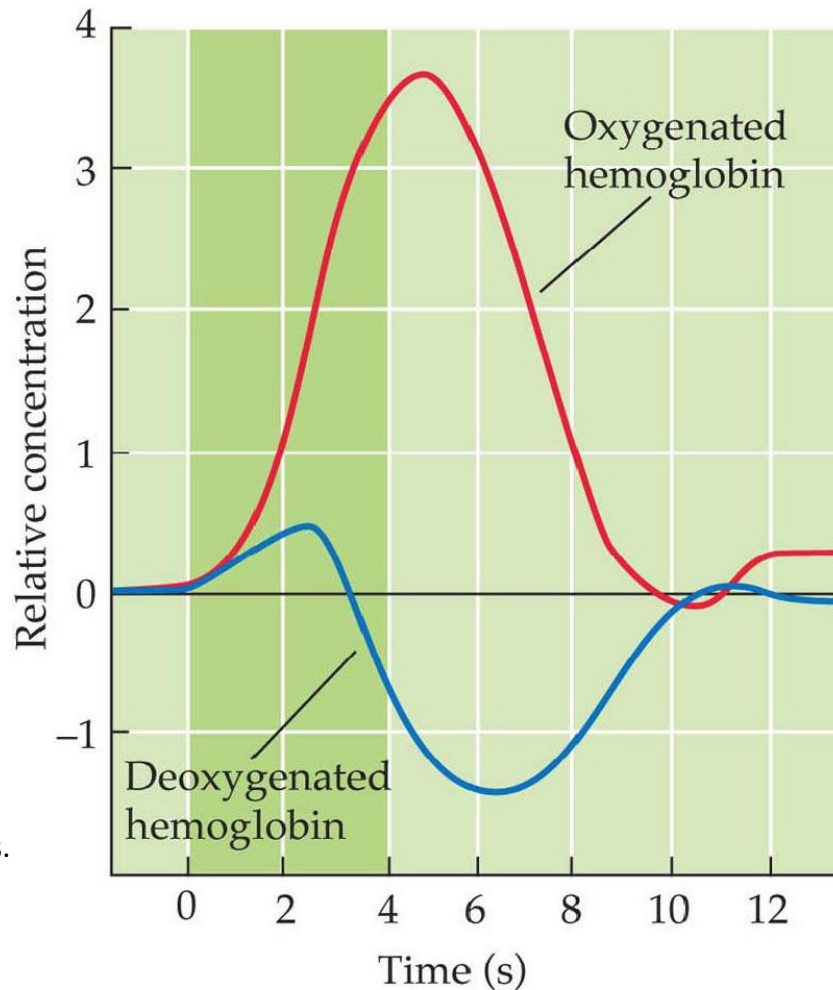


Mehr oxygeniertes Blut wird geliefert als nötig →
Reduktion der Menge an deoxygeniertem Hämoglobin

Principles of Cognitive Neuroscience, Figure 3.10 (Part 2)

Überkompensation

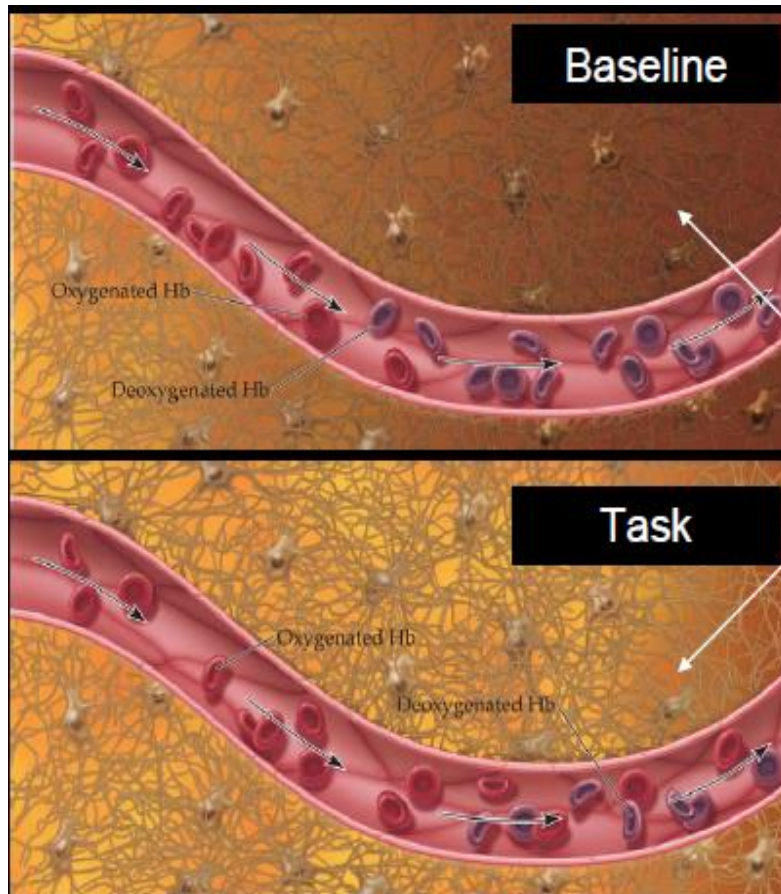
Mehr Hämoglobin wird geliefert als benötigt wird →
Verringerung des Deoxygenierten Hämoglobins



© Psychology Press.

From Mandeville et al., 1999

Deoxygeniertes Hämoglobin reduziert bestimmte Arten des MR Signals ($T2^*$)



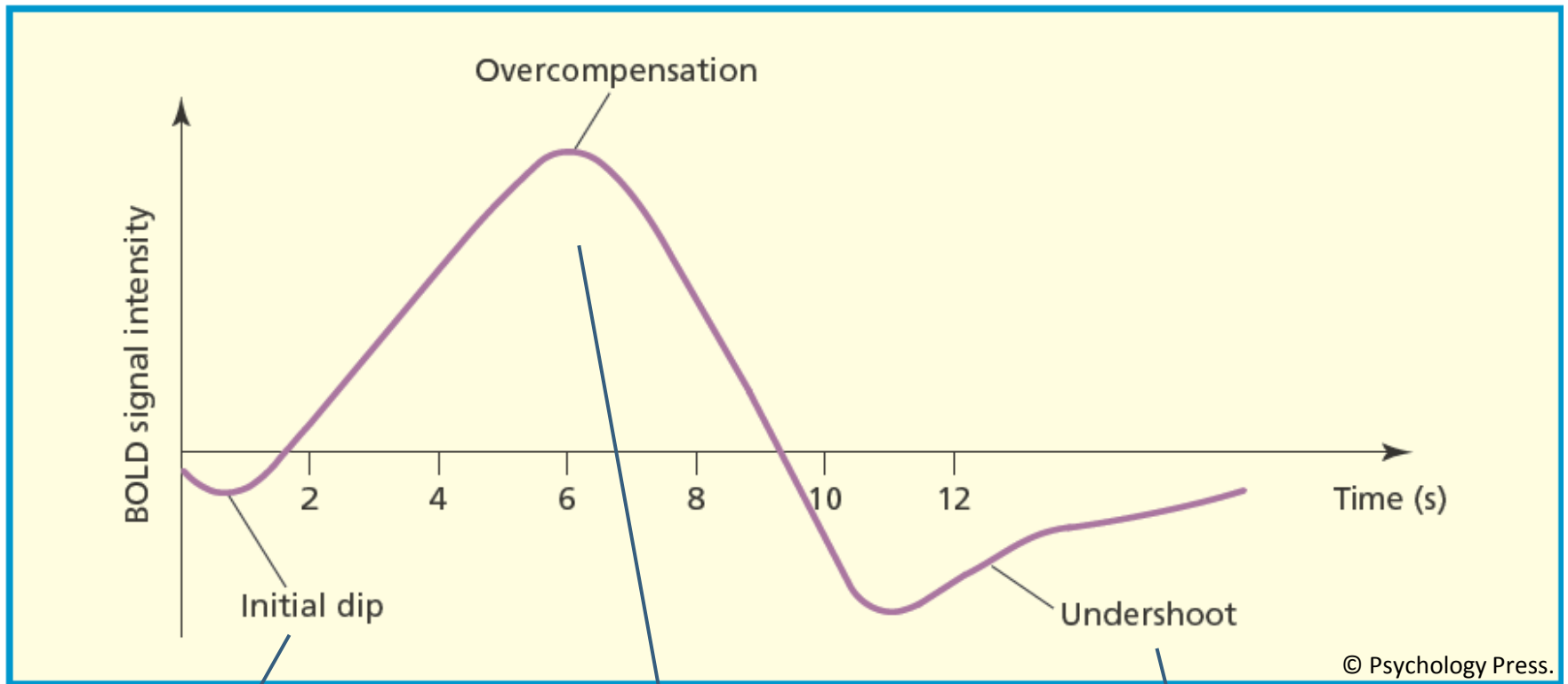
Blood Oxygenation Level Dependent (BOLD) Contrast

- Signalveränderung ist klein (ca. 1-3%)
- Form der HRF variiert zwischen Hirnregionen und/oder Probanden (Aguirre et al., 1998)
- Räumliche Auflösung ca. 1-3 mm

fMRI

Hemodynamic response function (HRF)

HRF = Veränderung des BOLD-Signal über die Zeit

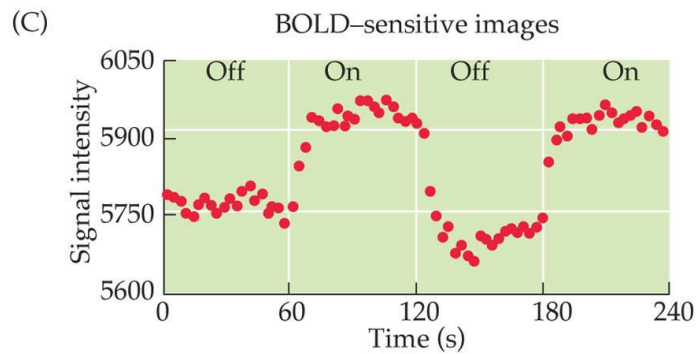
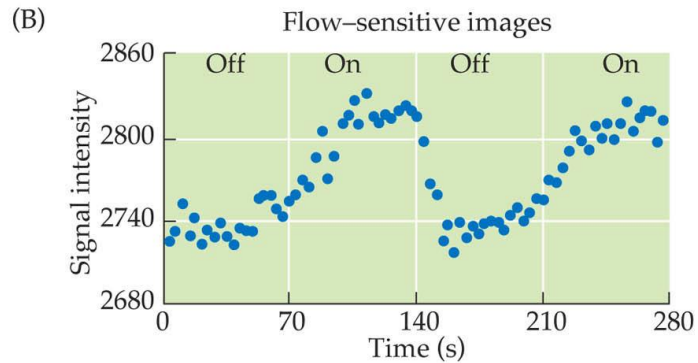


Erhöhter Sauerstoffverbrauch durch aktive Neuronen → kleiner relativer Anstieg deoxygenierten Bluts

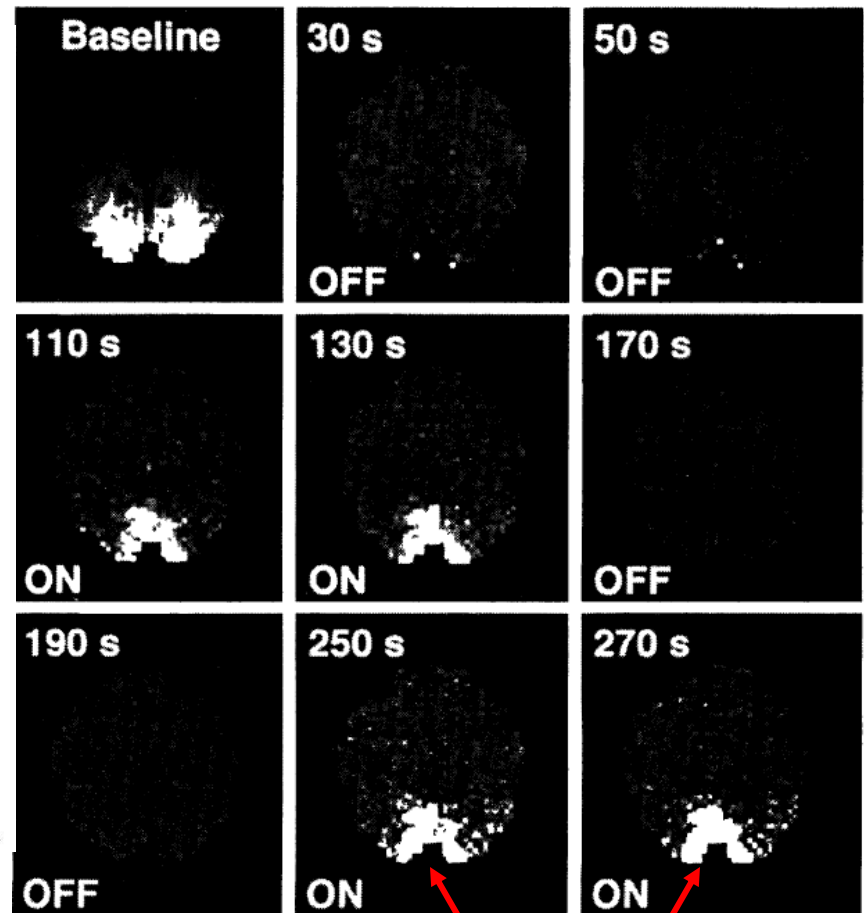
Erhöhter Sauerstoffverbrauch → erhöhter Zufluss von oxygeniertem Blut (Überkompensation)

Sauerstoffverbrauch und Blutzufluss fallen temporär unter Baseline

Die erste Anwendung der BOLD fMRT



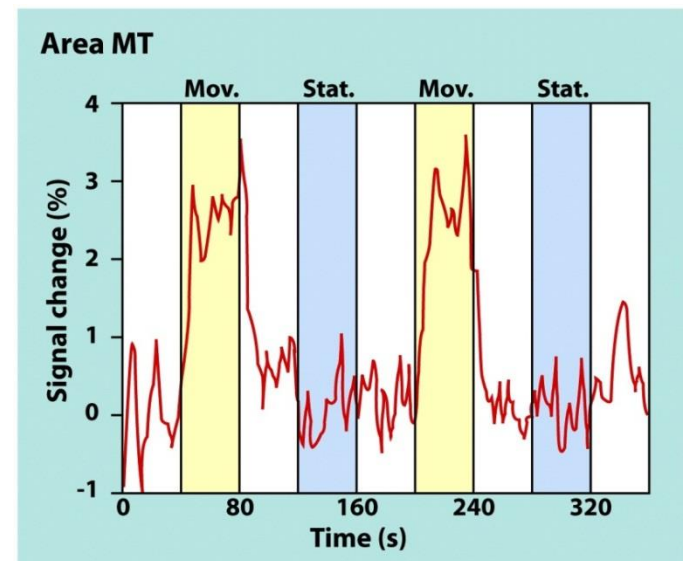
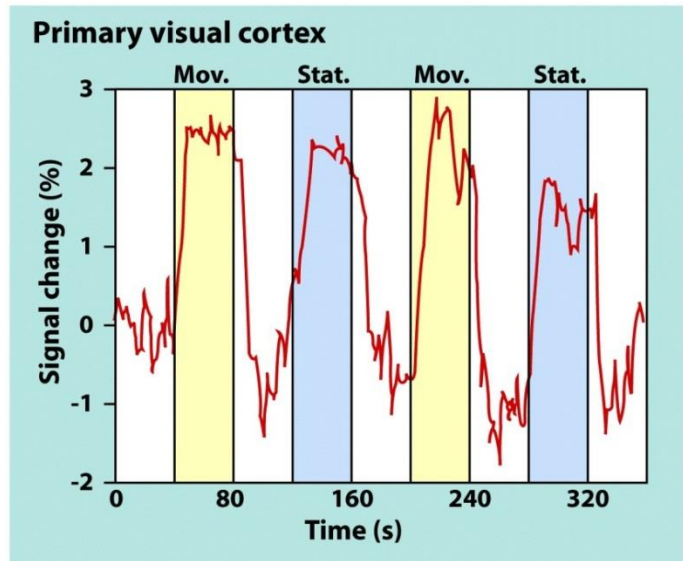
FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING, Figure 7.11 (Part 2) © 2004 Sinauer Associates, Inc.



Visual Cortex

fMRI measures time-dependent fluctuations in oxygenation

- Probanden sahen Feld zufällig angeordneter weißer Punkte auf schwarzem Hintergrund
- Punkte blieben entweder stationär oder bewegten sich um eine Achse
- 40-s Stimulationsintervalle alternierten mit 40-s Intervallen mit leerem Bildschirm
- (a) Primärer visueller Kortex (V1): erhöhte Aktivierung in Stimulations- vs. Leerintervallen
- (b) Area MT: erhöhte Aktivierung nur bei sich bewegenden Punkten



PET v. fMRI

PET

- Based on blood volume
- Involves radioactivity (signal depends on radioactive tracer)
- Participants scanned only once
- Temporal resolution = 30 seconds
- Effective spatial resolution = 10 mm
- Must use a blocked design
- Sensitive to the whole brain
- Can use pharmacological tracers

fMRI

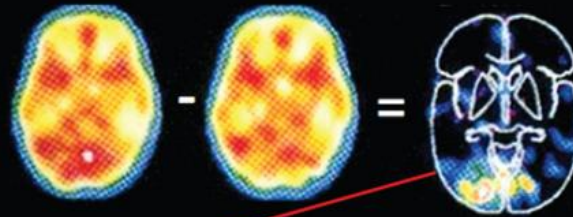
- Based on blood oxygen concentration
- No radioactivity (signal depends on deoxy-hemoglobin levels)
- Participants scanned many times
- Temporal resolution = 1–4 seconds
- Spatial resolution = 1 mm
- Can use either blocked or event-related design
- Some brain regions (e.g. near sinuses) are hard to image

Experimentelle Designs für funktionelle Bildgebungsstudien

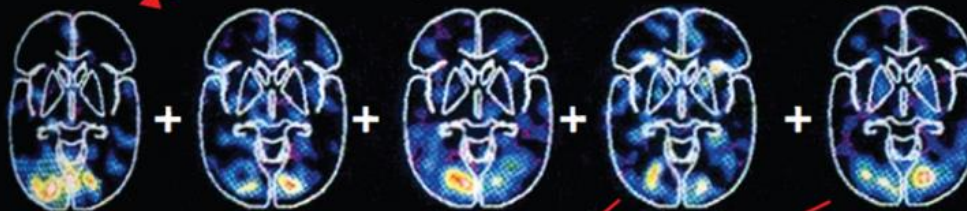
Subtraktionsmethode

PET and fMRI SUBTRACTION METHOD

Stimulation Activity *minus* Control Activity = Difference Activity

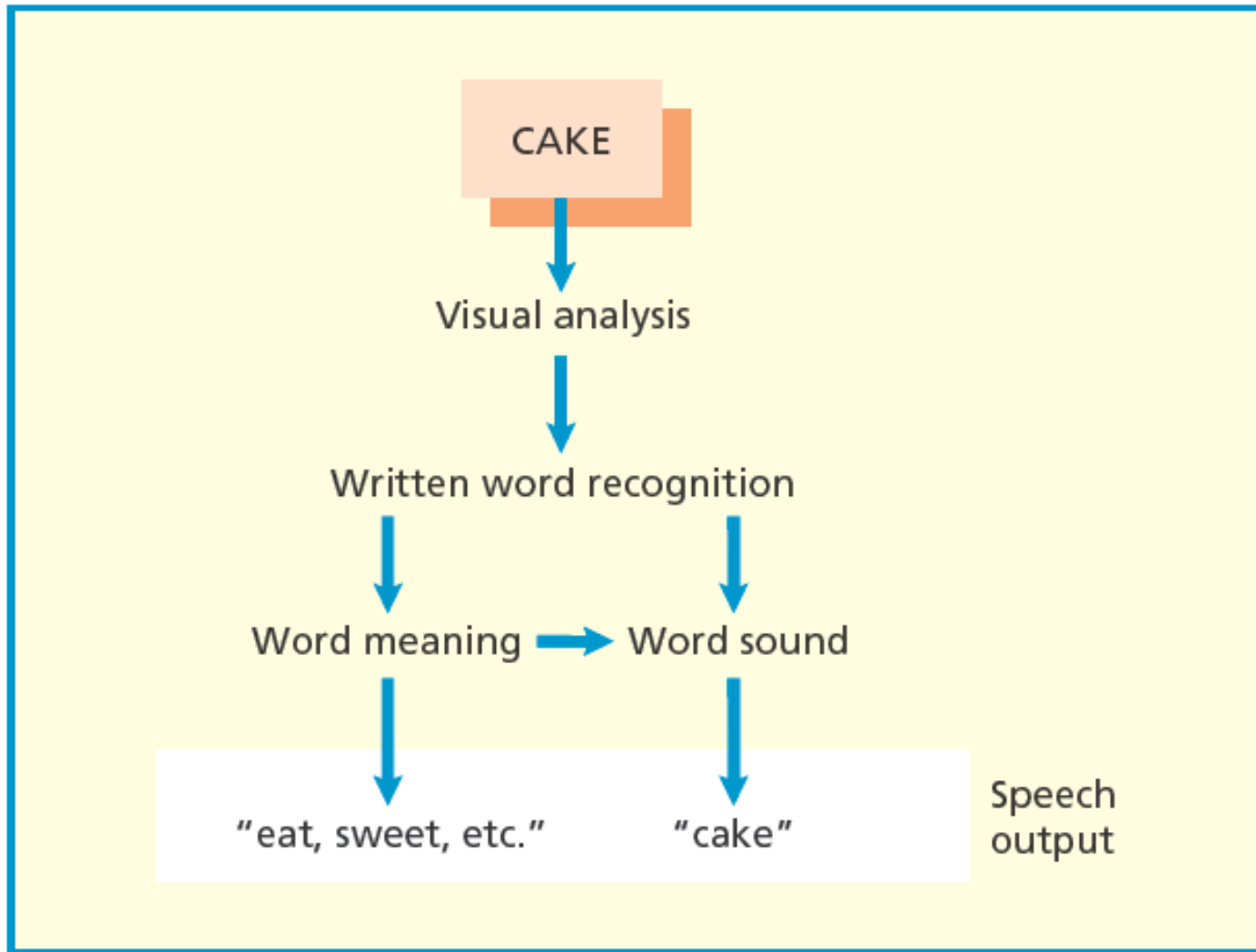


Subjects' individual difference images



Averaged difference =
brain activity due to the
experimental manipulation

Peterson et al. (1988): PET Studie



Peterson et al. (1988): PET Study

What regions of brain used for recognizing words?

EXPERIMENTAL

- passive viewing of written words

Cognitive components
visual processing
word recognition

—

BASELINE

- passive viewing of fixation cross (+)

Cognitive components
visual processing

What regions of brain used for saying words?

EXPERIMENTAL

- read aloud a written word

Cognitive components
visual processing
word recognition
phonology/articulation

—

BASELINE

- passive viewing of a written word

Cognitive components
visual processing
word recognition

What regions of brain used for retrieving meaning?

EXPERIMENTAL

- generate an action
e.g. see CAKE say "eat"

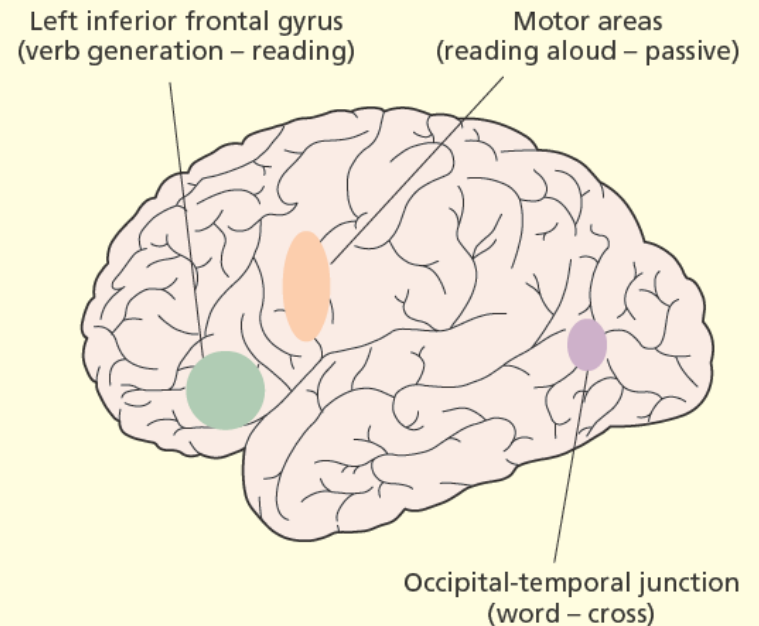
Cognitive components
visual processing
word recognition
phonology/articulation
retrieve meaning

—

BASELINE

- read aloud a written word

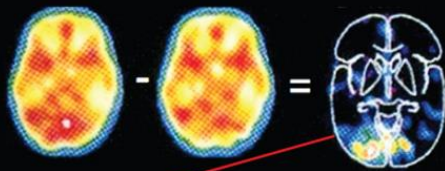
Cognitive components
visual processing
word recognition
phonology/articulation



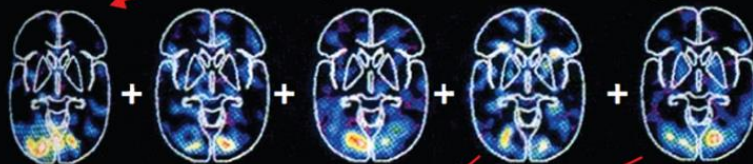
Subtraktionsmethode (Petersen et al., 1988) (vgl. letzte Vorlesung)

PET and fMRI SUBTRACTION METHOD

Stimulation Activity **minus** Control Activity = Difference Activity



Subjects' individual difference images



Averaged difference =
brain activity due to the
experimental manipulation

Source: Posner and Raichle, 1997.

What regions of brain used for recognizing words?

EXPERIMENTAL
• passive viewing of
written words

Cognitive components
visual-processing
word recognition

—

BASELINE
• passive viewing of
fixation cross (+)

Cognitive components
visual-processing

What regions of brain used for saying words?

EXPERIMENTAL
• read aloud a
written word

Cognitive components
visual-processing
word-recognition
phonology/articulation

—

BASELINE
• passive viewing of
a written word

Cognitive components
visual-processing
word-recognition

What regions of brain used for retrieving meaning?

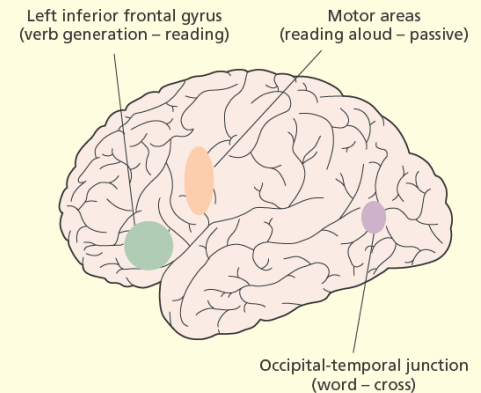
EXPERIMENTAL
• generate an action
e.g. see CAKE say "eat"

Cognitive components
visual-processing
word-recognition
phonology/articulation
retrieve meaning

—

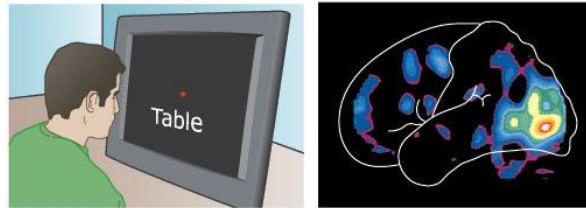
BASELINE
• read aloud a
written word

Cognitive components
visual-processing
word-recognition
phonology/articulation

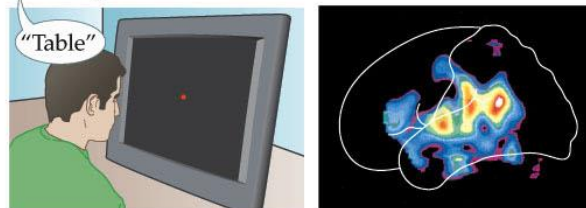


Peterson et al. (1988): PET Study

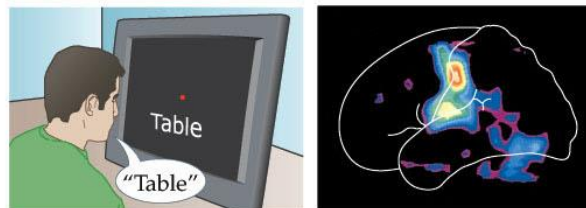
Passively viewing words



Listening to words



Speaking words

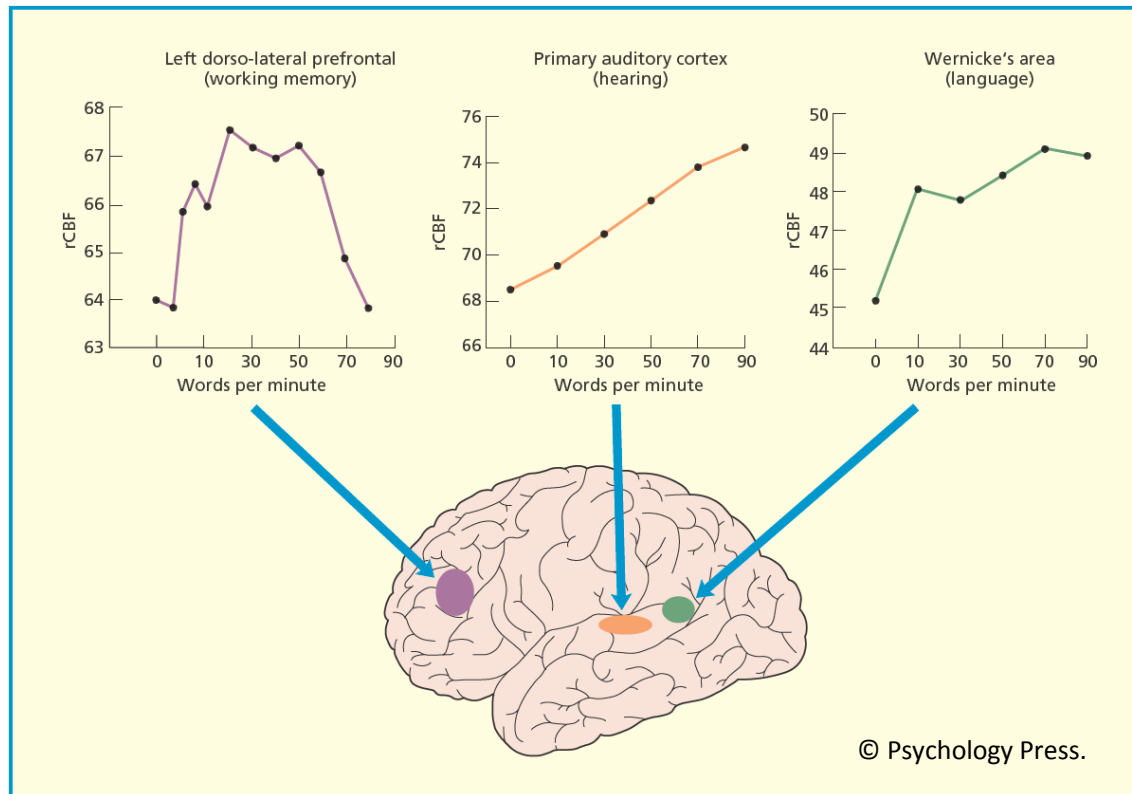


Generating word associations



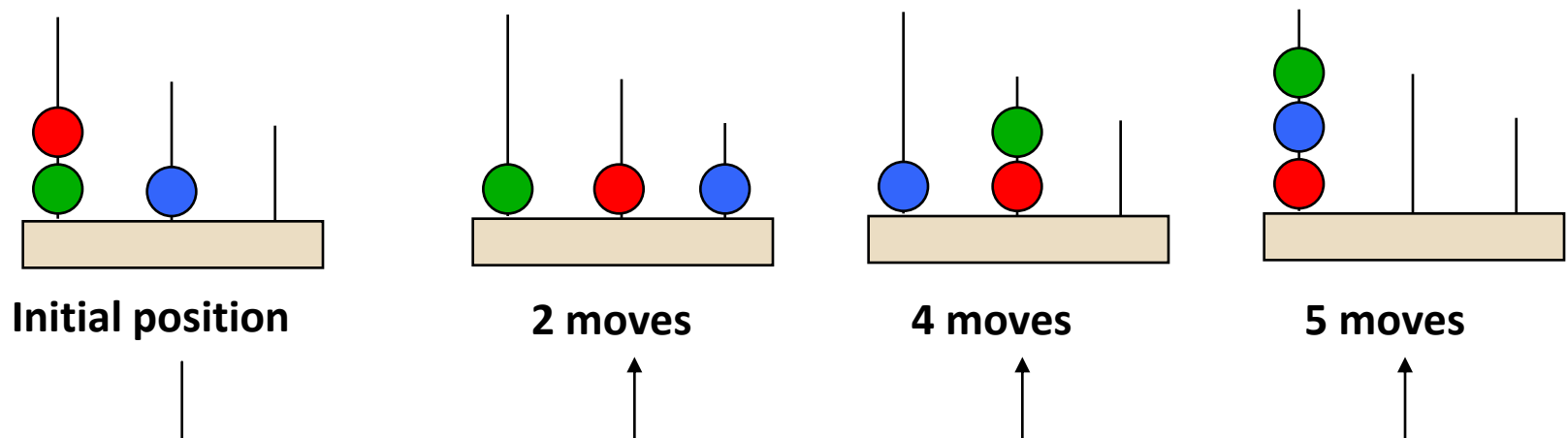
Parametrische Designs

- Variation einer kontinuierlich abstufbaren unabhängigen Variablen (z.B. Grad der Arbeitsgedächtnisbelastung; Schwierigkeit einer Problemlösaufgabe etc.)
- Suche nach Hirnregionen, in denen Aktivierung mit der Variation der UV korreliert
- Bsp.: Verschiedene Hirnregionen zeigen unterschiedliche Reaktionsprofile auf unterschiedliche schnelle Wortpräsentationen (Price et al. 1992; Friston, 1997)



Parametrisches Design am Beispiel einer funktionellen Bildgebungsstudien zum Planen und Problemlösen

„Turm von London“



Die Anzahl der minimal notwendigen Züge kann variiert werden

Funktionelle Bildgebungsstudien zum Planen und Problemlösen

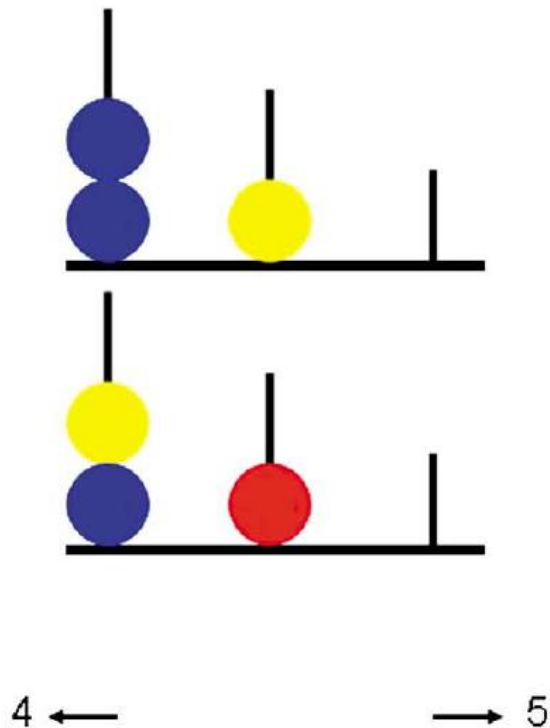
- TOL umfasst mehrere Teilprozesse
 - Enkodierung und Repräsentation von Ausgangs- und Zielzustand
 - Auswahl eines zulässigen Zuges
 - Mentales Durchspielen von Zügen
 - Bewertung der Ergebnisse von Zügen in Bezug auf das Ziel
 - Aufrechterhaltung einer Sequenz von Zügen im Arbeitsgedächtnis (wenn das Planen „im Kopf“ erfolgen soll)
 - Motorische Ausführung der Züge

- Zielsetzung von Bildgebungsstudien:
 - Identifikation von Hirnregionen, die *spezifisch* durch Planungsprozesse aktiviert werden
 - Abgrenzung dieser Regionen von motorischen und visuellen Arealen, die nicht am Planen i.e.S. beteiligt sind

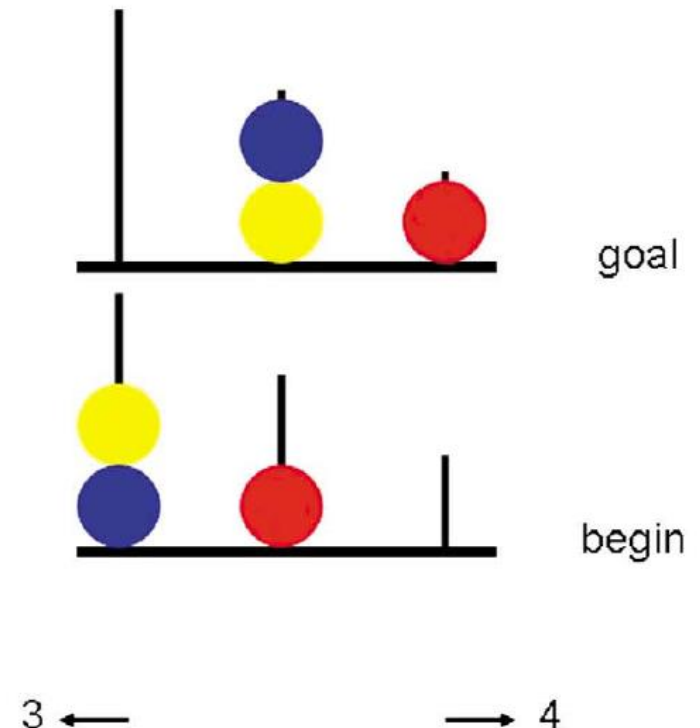
A parametric functional magnetic resonance study of the Tower of London task

- 22 gesunde Versuchspersonen (11m, 11w; mittlere Alter 30 J)

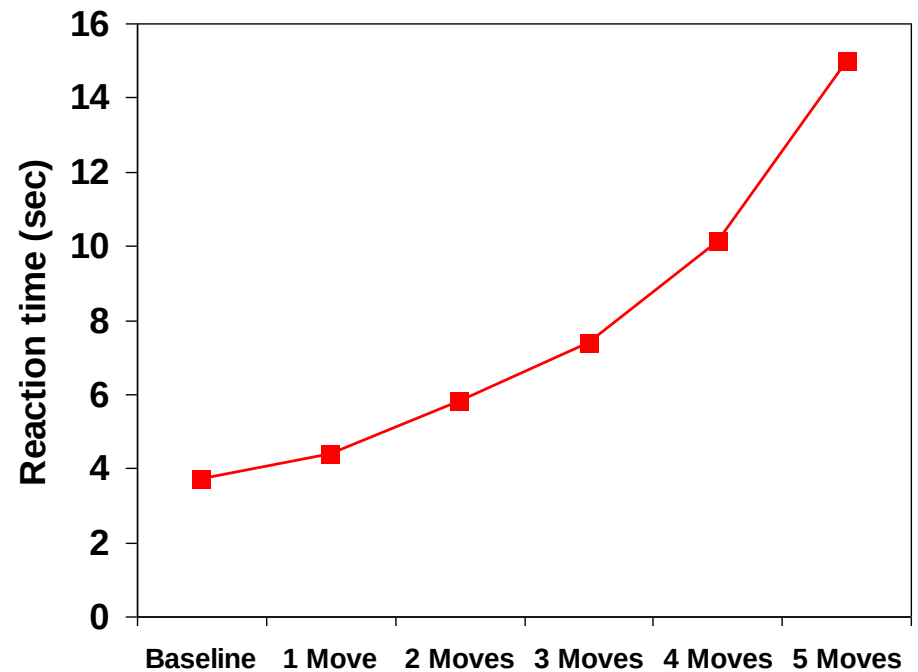
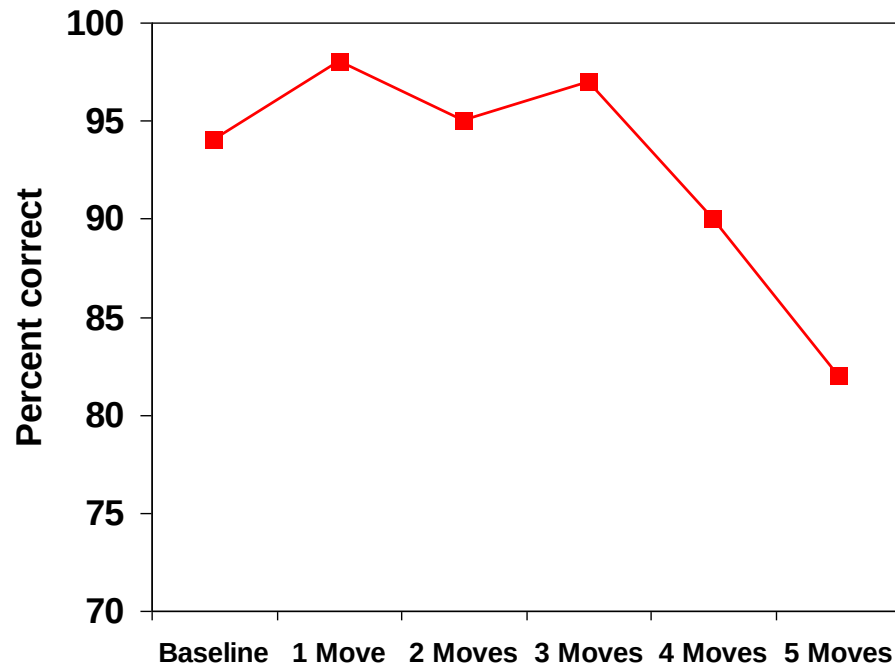
A Count the yellow and blue beads



B Count the amount of steps

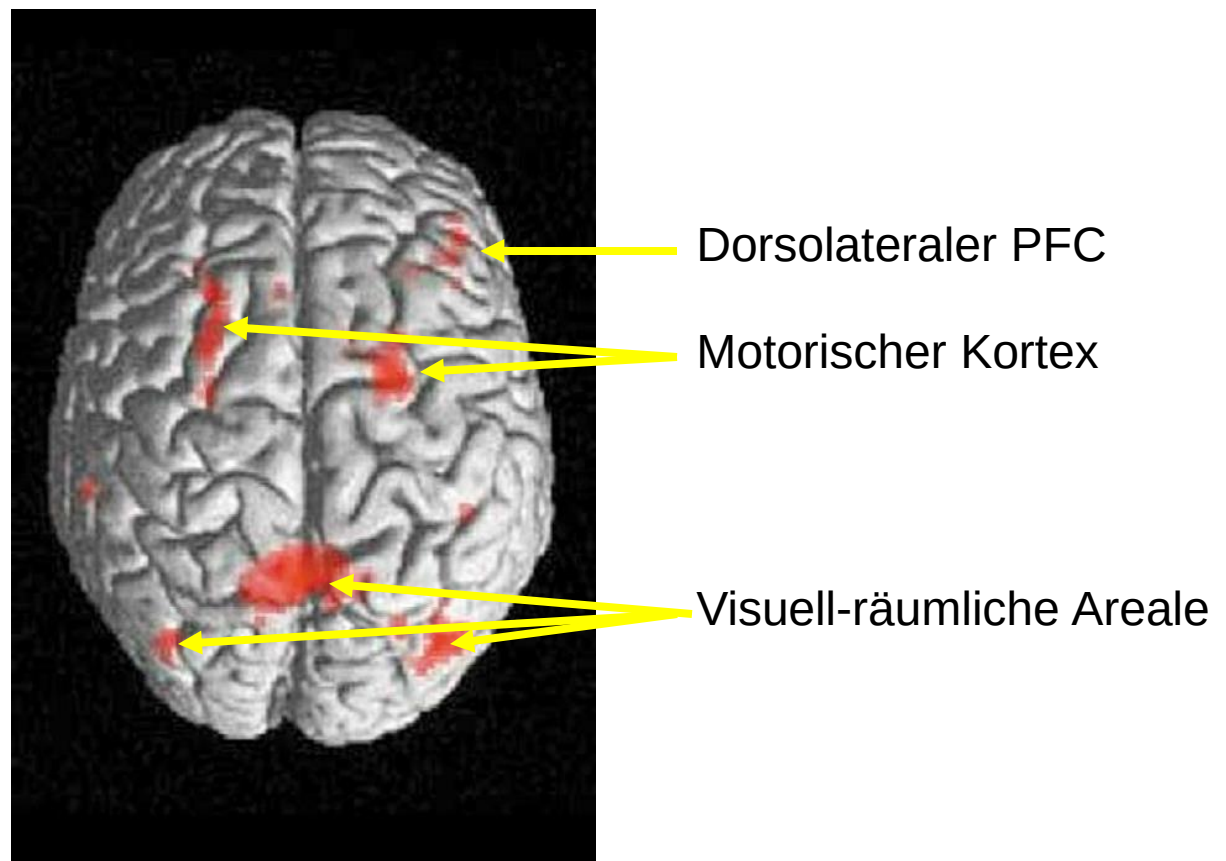


Verhaltensdaten



fMRT Ergebnisse: Differenzanalyse

- Regionen mit erhöhtem BOLD-Signal in der Planungs- im Vergleich zur Baselinebedingung

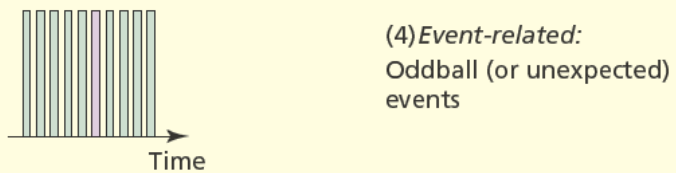
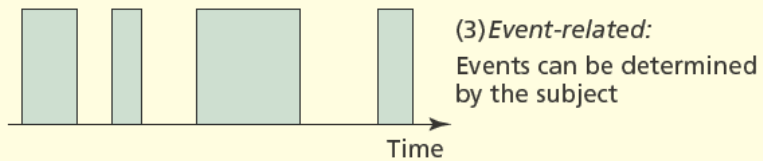
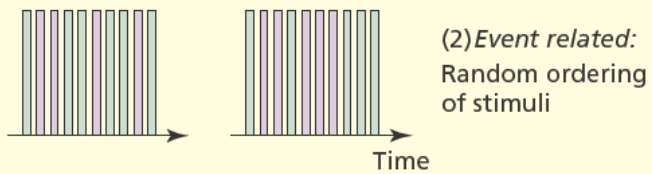
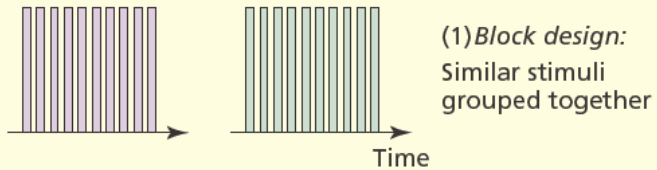


Zusammenfassung

- Die Turm-von-London Aufgabe aktiviert ein Netzwerk aus Hirnregionen
 - dorsolateraler PFC
 - prämotorischer und motorischer Kortex
 - supplementär-motorische Region
 - Visuell-räumliche Regionen (u.a. Parietalkortex)
 - Striatum

- Einige Regionen sind spezifisch an Planungsprozessen beteiligt
 - Korrelation mit Planungskomplexität im dorsolateralen PFC (in einigen Studien auch im Parietalkortex)
 - Selektive Aktivierung bei erhöhter Planungskomplexität im frontopolaren PFC (BA 10)

Event-related vs. Block Designs

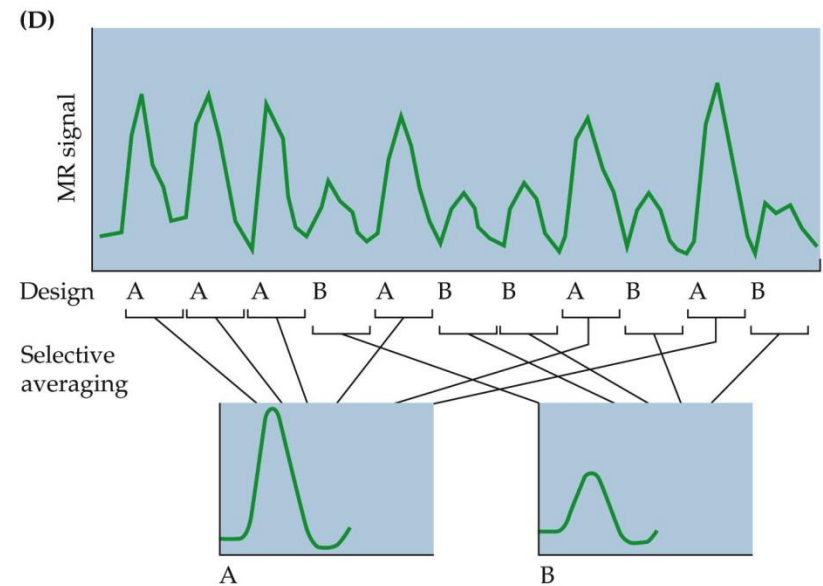


Event-related vs. Block Designs



Principles of Cognitive Neuroscience, Figure 3.11 (Part 2)

© 2008 Sinauer Associates, Inc.

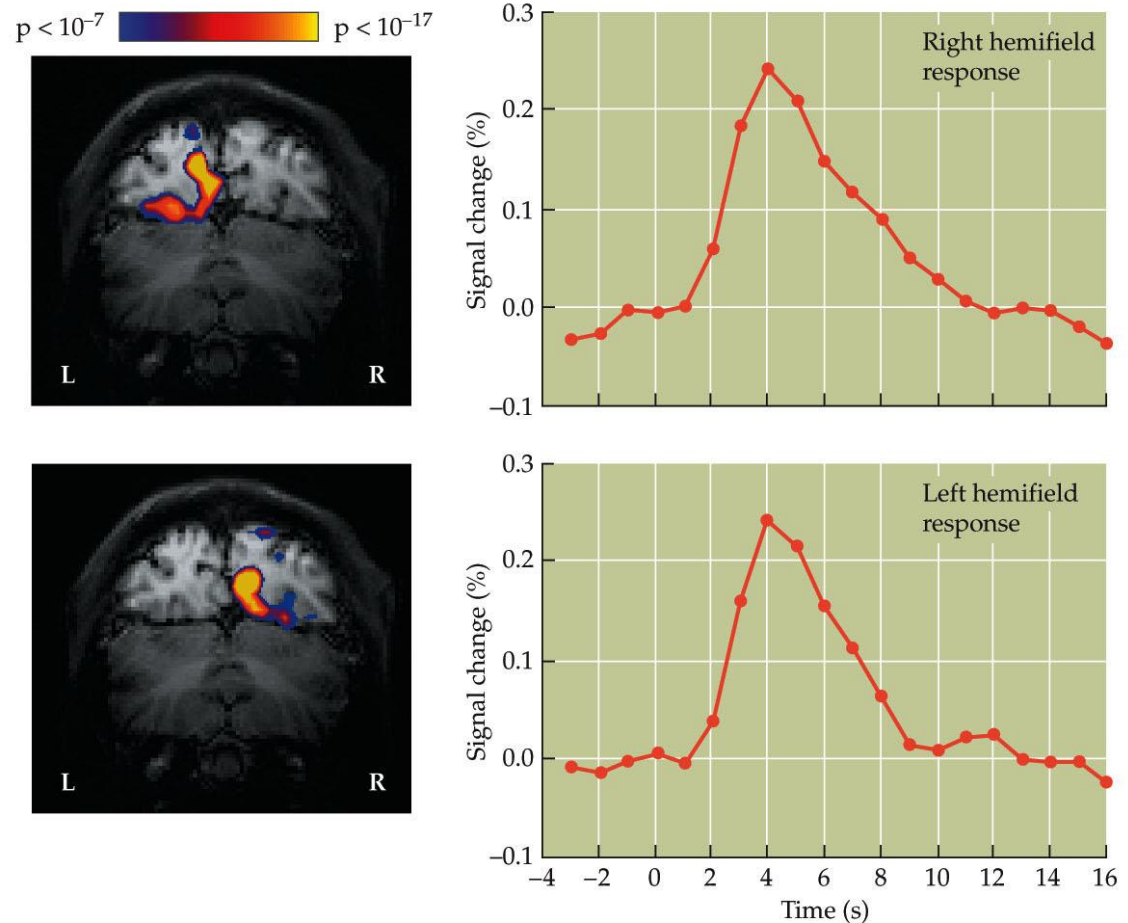


Principles of Cognitive Neuroscience, Figure 3.11 (Part 4)

© 2008 Sinauer Associates, Inc.

Ereigniskorrelierte fMRT-Reaktionen in einem einfachen visuellen Paradigma

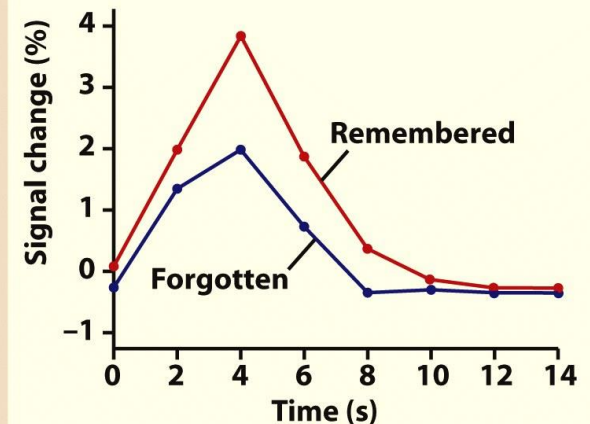
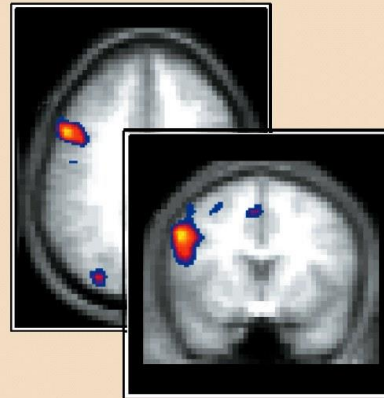
- Visuelle Reize wurden in zufälliger Reihenfolge im linken oder rechten visuellen Feld dargeboten
- Probanden fixierten zentrales Kreuz



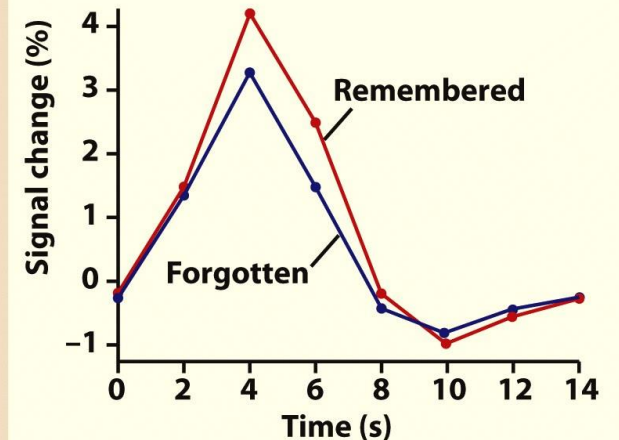
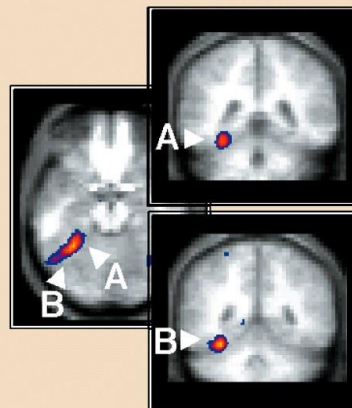
Using event-related fMRI to identify areas associated with failures during memory encoding

- Left inferior frontal gyrus (LIFG) and left parahippocampal region exhibit greater activity during encoding for words that are subsequently remembered compared to those that are forgotten

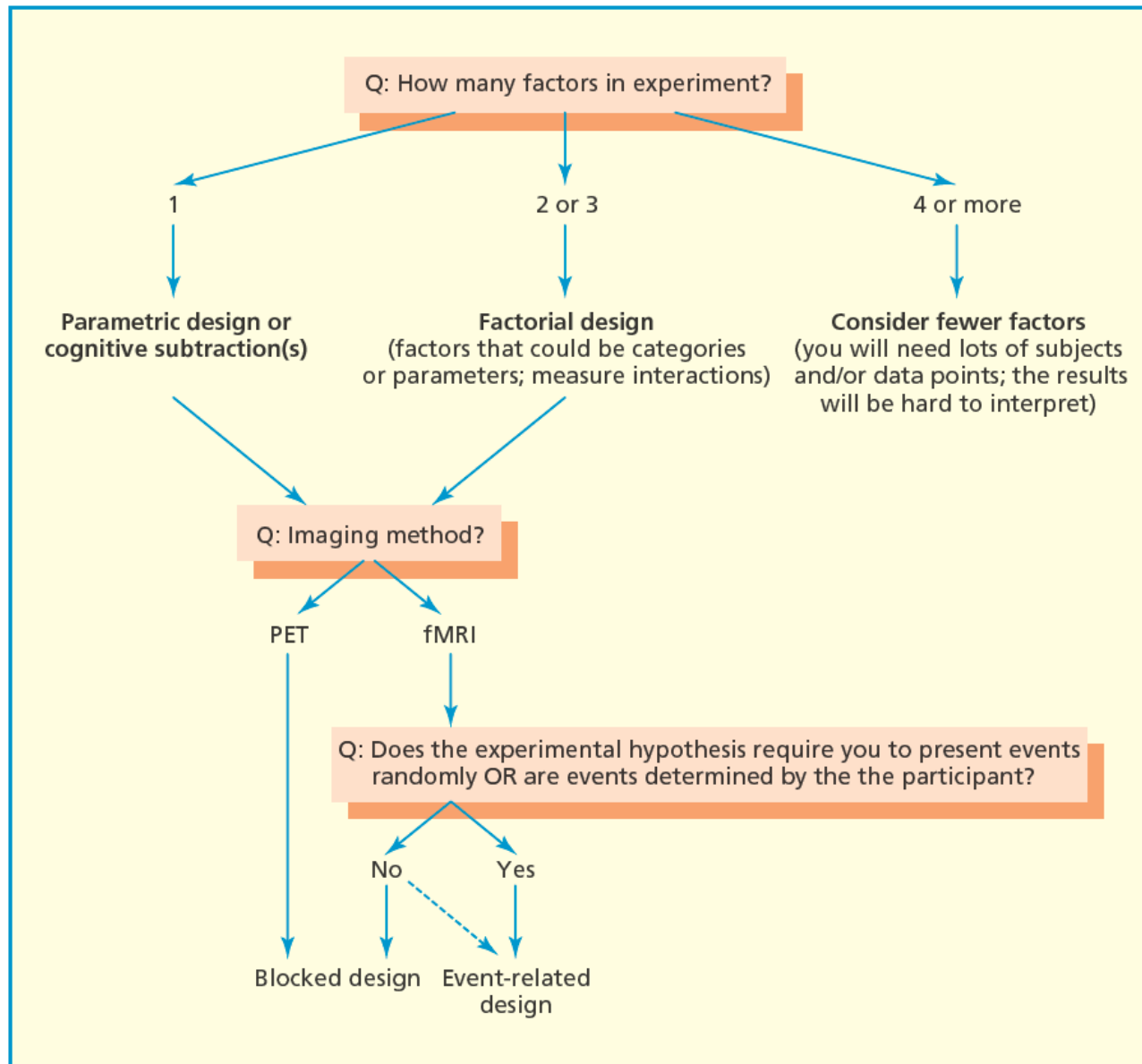
Posterior LIFG



Parahippocampal/fusiform gyri



Which Design?



Analyse von Bildgebungsstudien

fMRI experimental data hierarchy

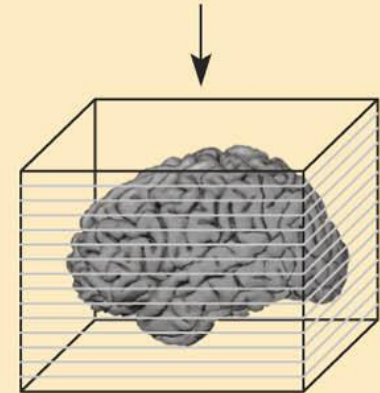
Subjects



Single run



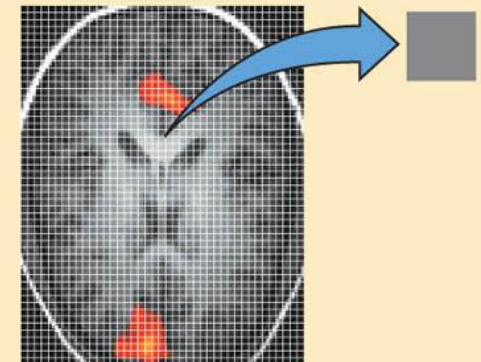
Volume



Slices



Voxel



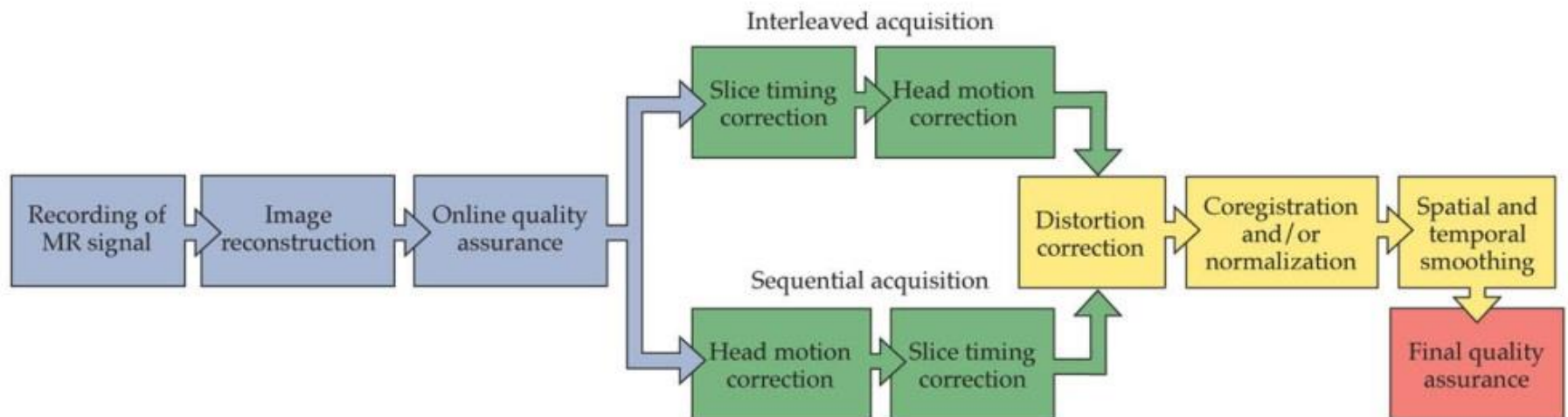
Sessions



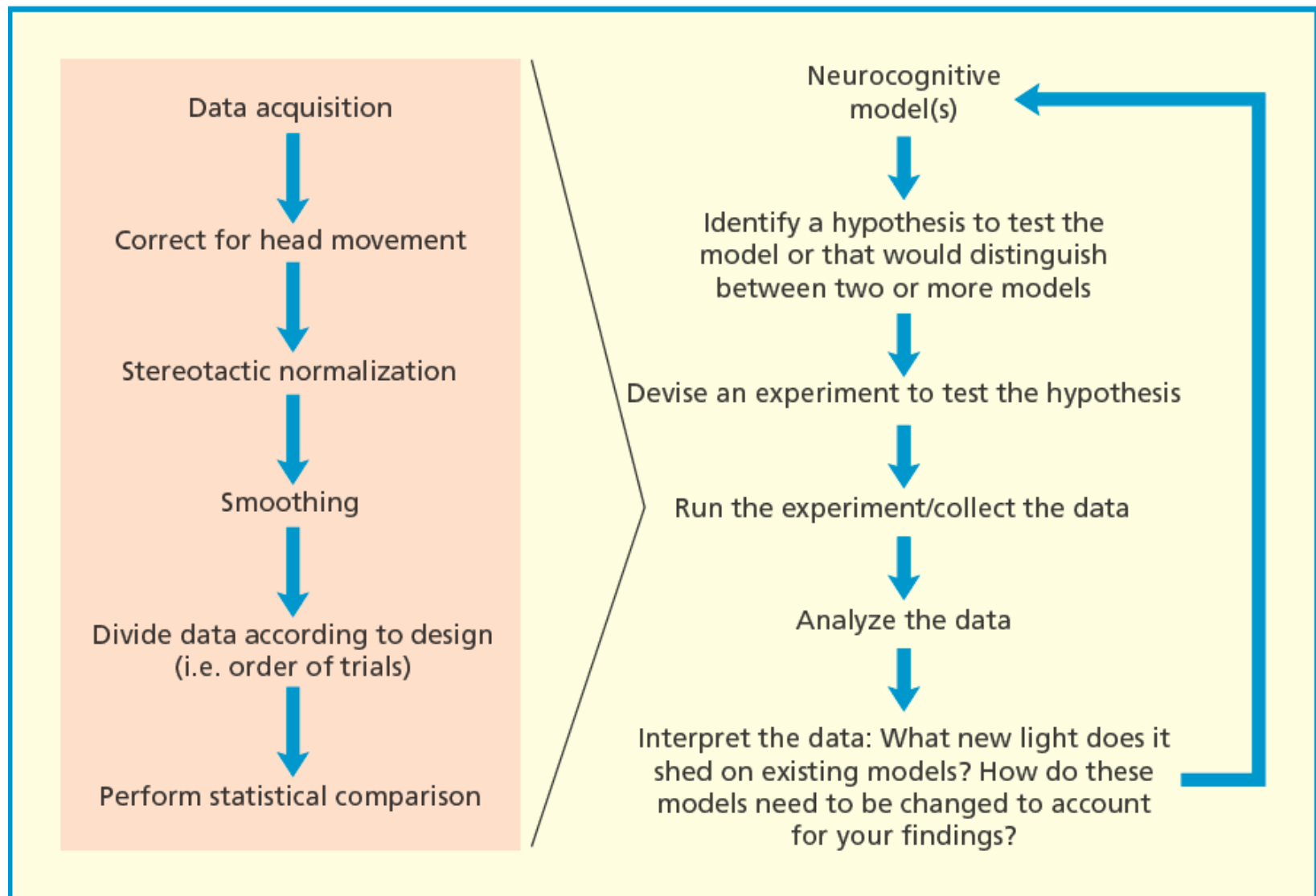
Runs

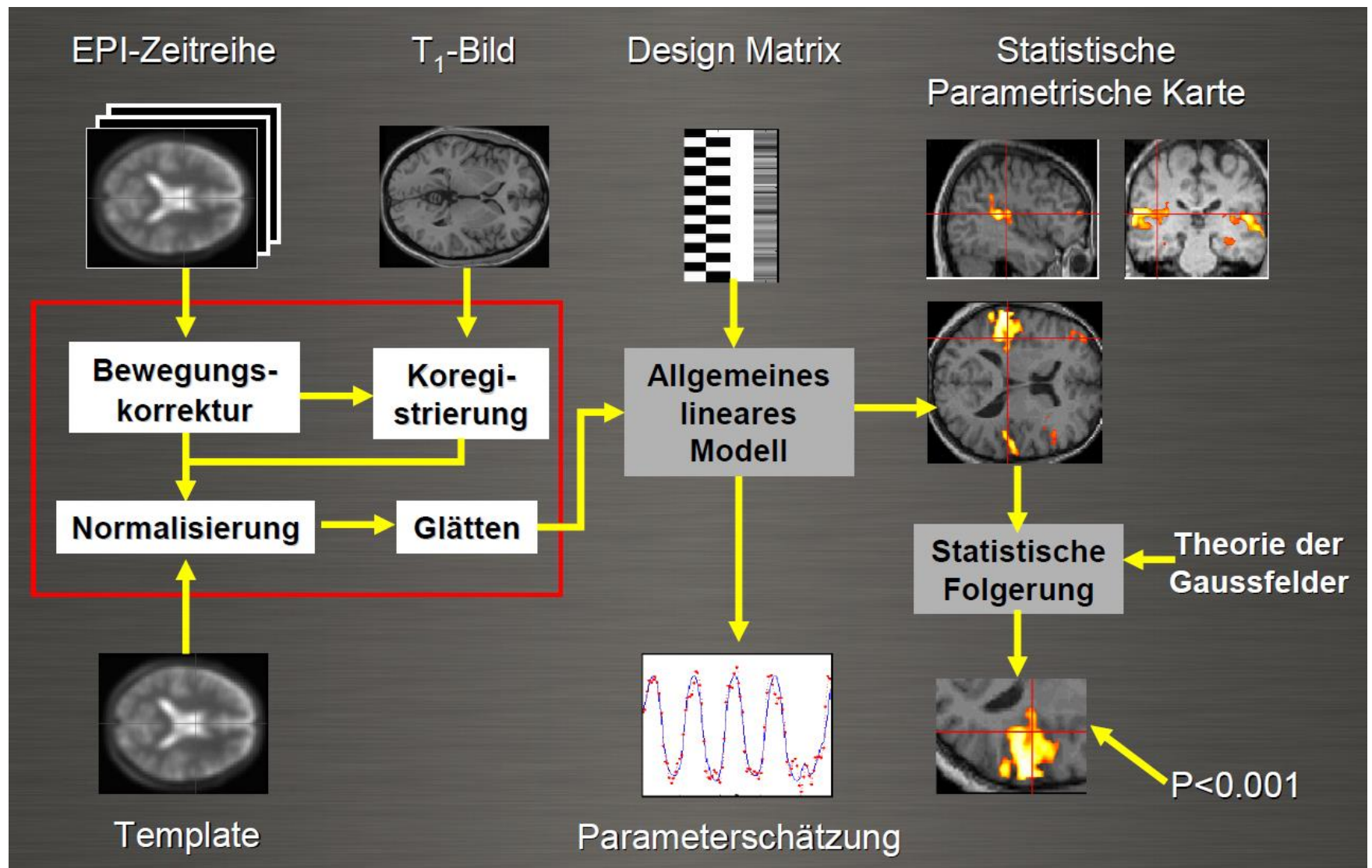


Vorverarbeitung (pre-processing)

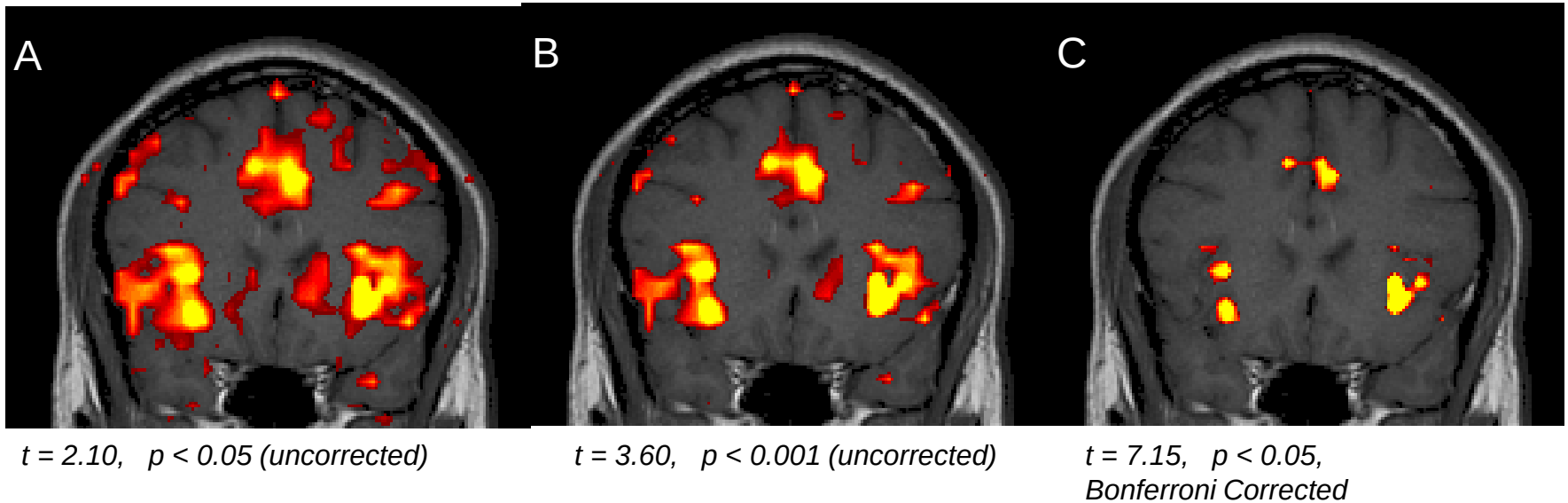


Analysing Functional Imaging Data





Das Problem der multiplen Vergleiche



Lösungsansätze

Statistische Korrektur (z.B. Bonferroni)

- Family-wise error rate
- False Discovery Rate (FDR)

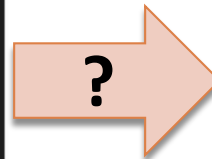
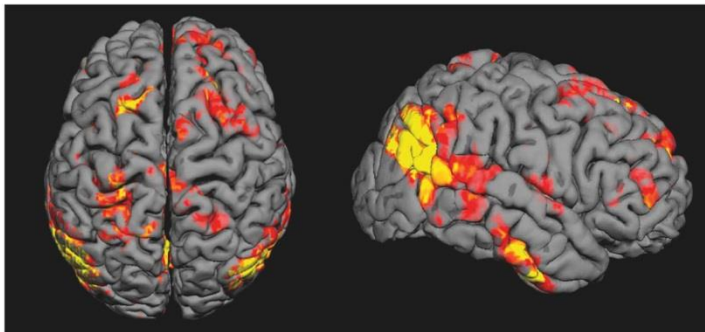
Regions-of-interest (ROI) Ansatz

(→ Modul KN und Master Cognitive-Affective Neuroscience)

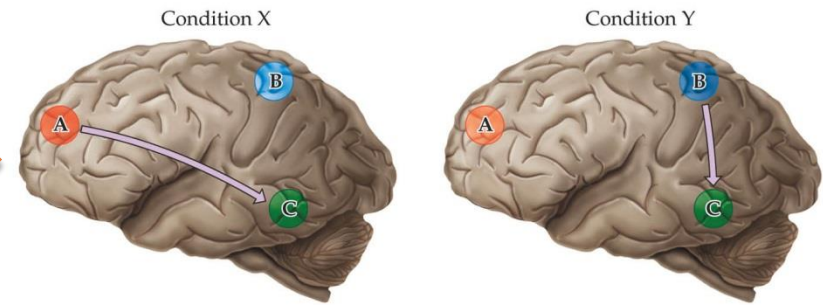
Konnektivitätsanalysen

- Ziel:
 - zu verstehen, wie Hirnregionen untereinander verbunden sind, miteinander interagieren und sich wechselseitig beeinflussen
 - Modelle der neuronalen *Netzwerke* zu entwickeln, die kognitiven und affektiven Prozessen zugrunde liegen
- Arten von Konnektivität
 - strukturell
 - funktionell
 - effektiv

Von Koaktivationen...



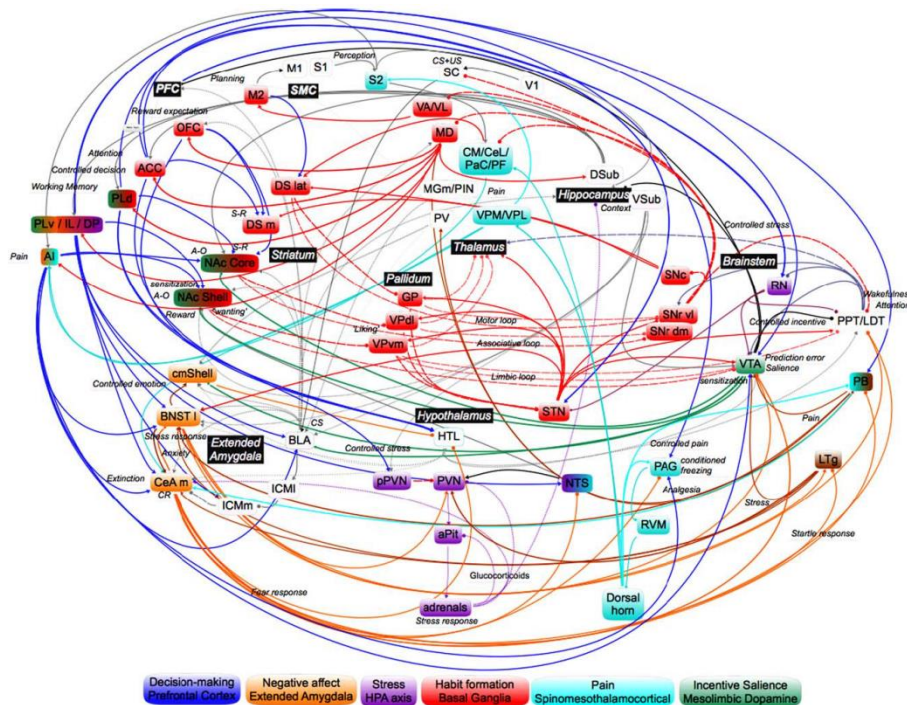
... zu funktionalen Netzwerken



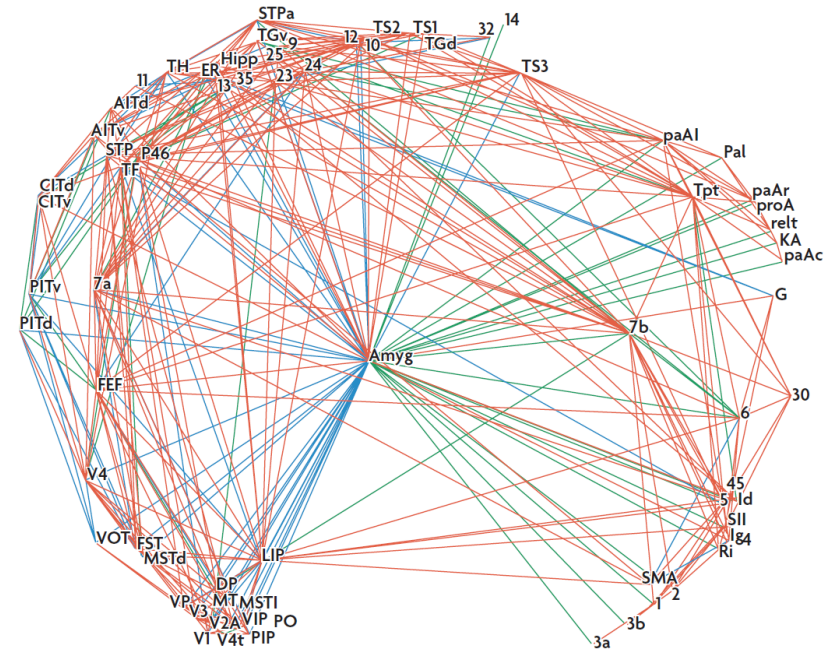
Strukturelle Konnektivität

- Muster der strukturellen Verbindungen (Faserstränge, synaptische Verbindungen) zwischen Neuronen / Neuronenverbänden in verschiedenen Hirnregionen

Konnektivität des Frontalkortex im Rattengehirn



Graphmodell der Konnektivität der Amygdala



George, O., & Koob, G. F. (2010). *Neurosci Biobehav Rev*, 35(2), 232-247.

Nach Young et al. (1994). *Rev. Neurosc.*
Pessoa, L. (2008). *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 148-158.

Funktionale und effektive Konnektivität

■ Funktionale Konnektivität

- Analyse von Kovariationen zwischen Aktivationsveränderungen in verschiedenen Hirnregionen als Indikatoren für mögliche (direkte oder indirekte) Verbindungen zwischen diesen Regionen
- Zunächst keine Aussage über die *Richtung* des Einflusses oder die zugrundeliegenden *Ursachen* der Kovariationen
- kann unter Ruhebedingungen (*resting state connectivity*) oder in Abhängigkeit von Aufgaben (*task dependent connectivity*) analysiert werden

■ Effektive Konnektivität

- Versuch, kausale Interaktionen zwischen Neuronenverbänden in unterschiedlichen Hirnregionen zu ermitteln
- (Z.B. Granger Causality; Dynamic Causal Modeling → Modul KN und Master Cognitive-Affective Neuroscience)

(→ Modul KN und Master Cognitive-Affective Neuroscience)

Ein Beispiel:

Aufgabenabhängige Modulation der funktionellen Konnektivität des Präfrontalkortex

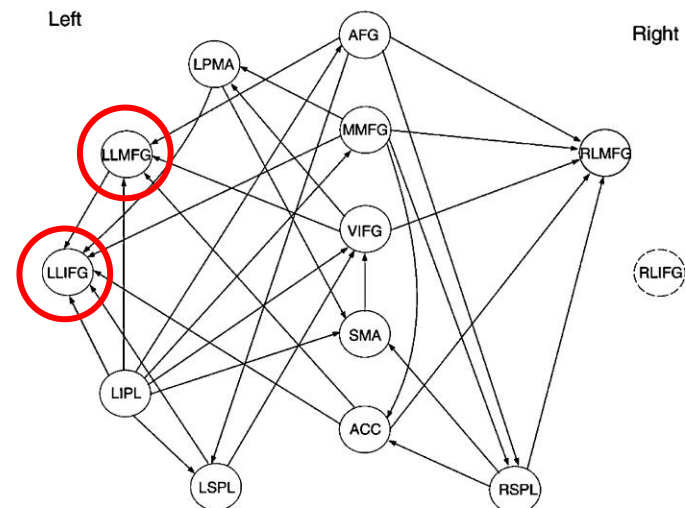
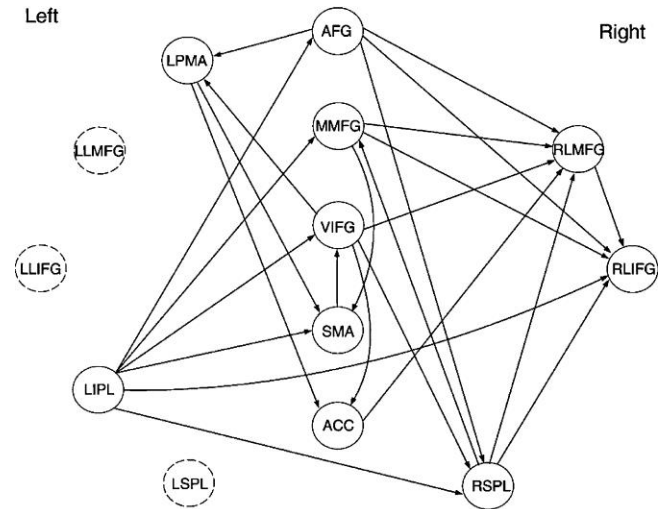
Kongruente
Bedingung

DREI
DREI
DREI

Zahlen-Stroop-Aufgabe

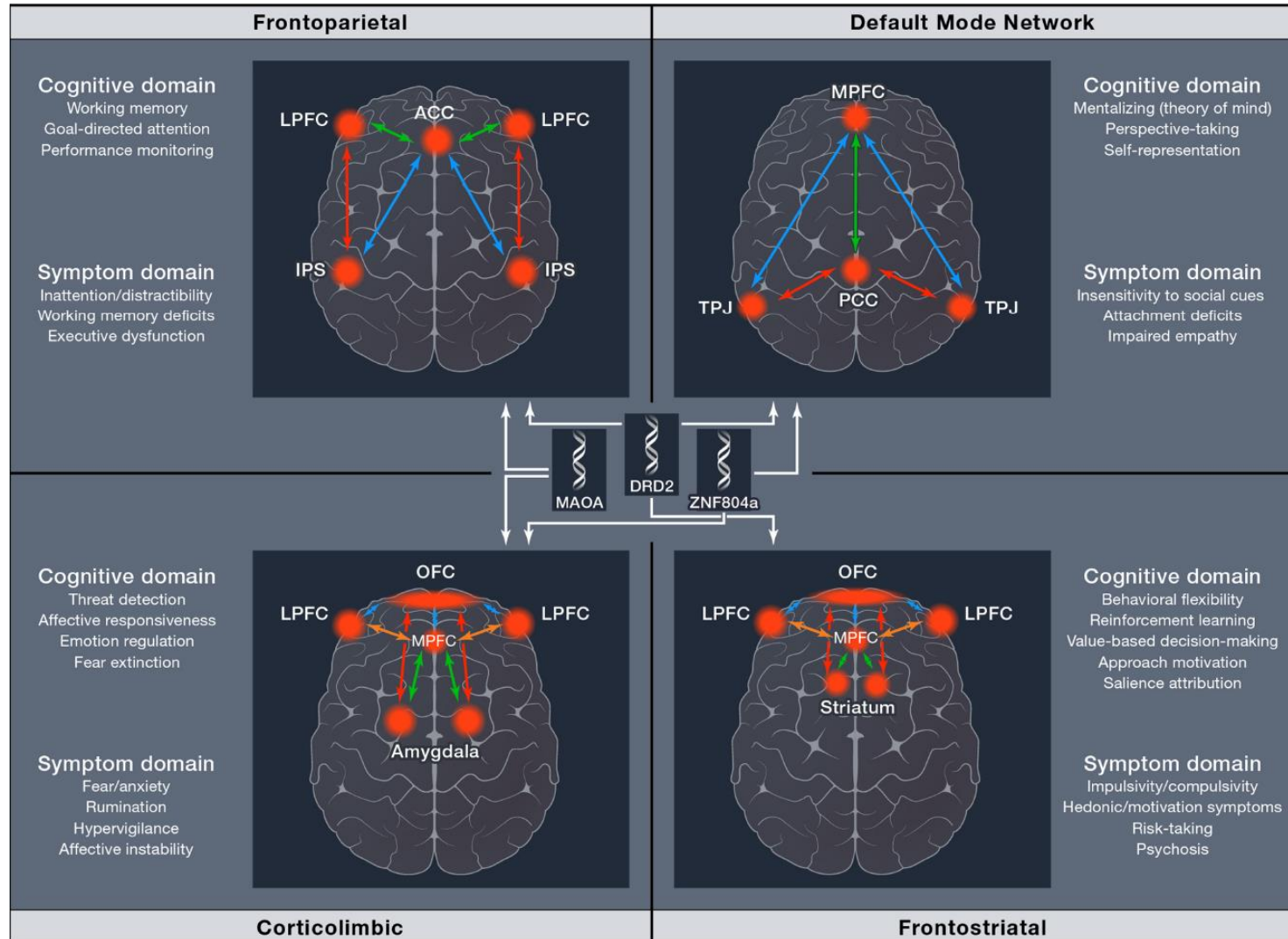
Inkongruente
Bedingung
(Interferenz)

VIER
VIER
VIER



Zheng & Rajapakse, 2006

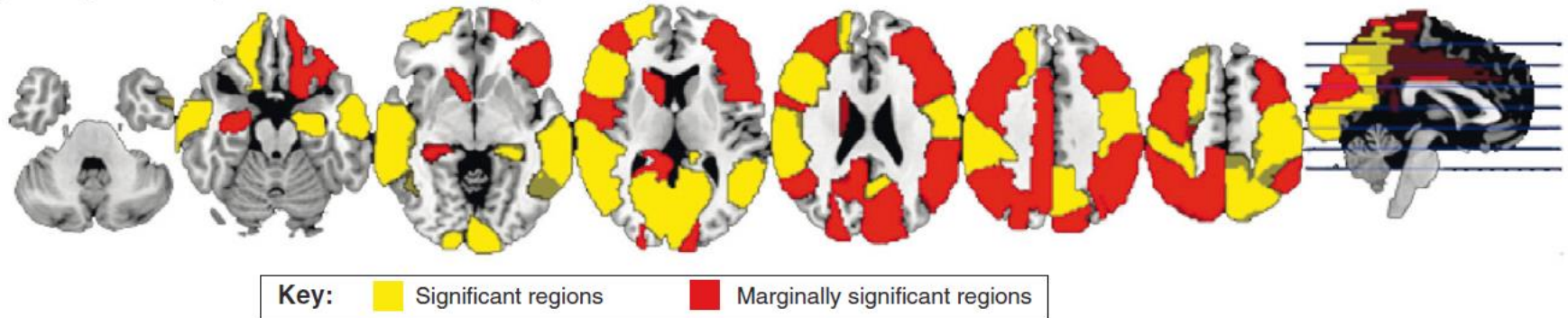
Modelle von „large-scale brain networks“



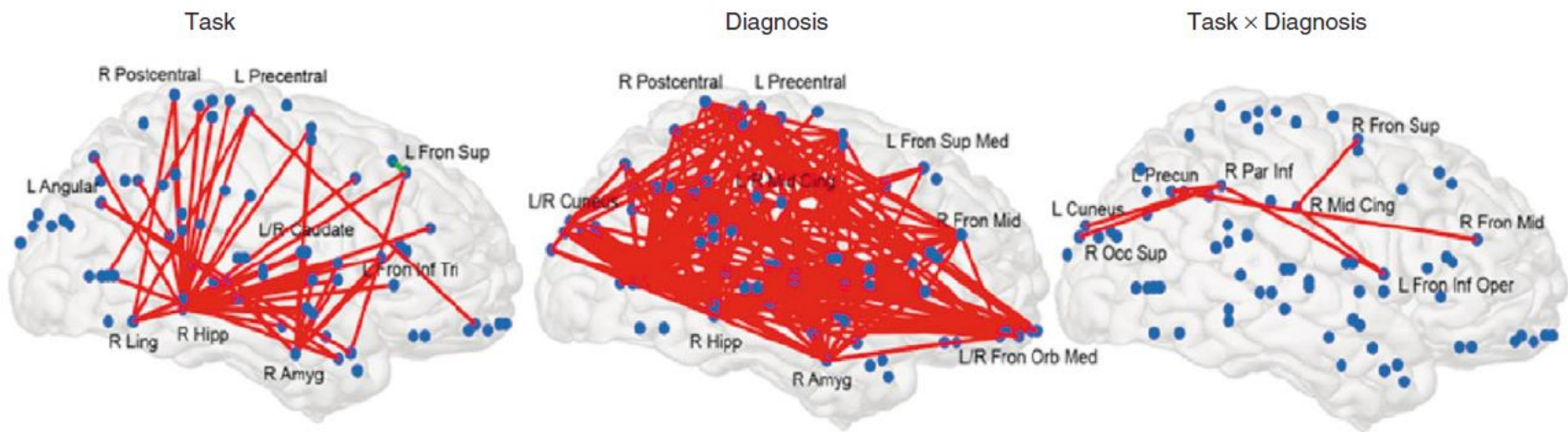
Ein klinisches Anwendungsbeispiel:

Abweichende funktionelle Konnektivität bei psychischen Störungen

(a) Regions showing reduced functional connectivity in schizophrenia



(b) Subnetworks of functional connections



Interpretation von Bildgebungsstudien

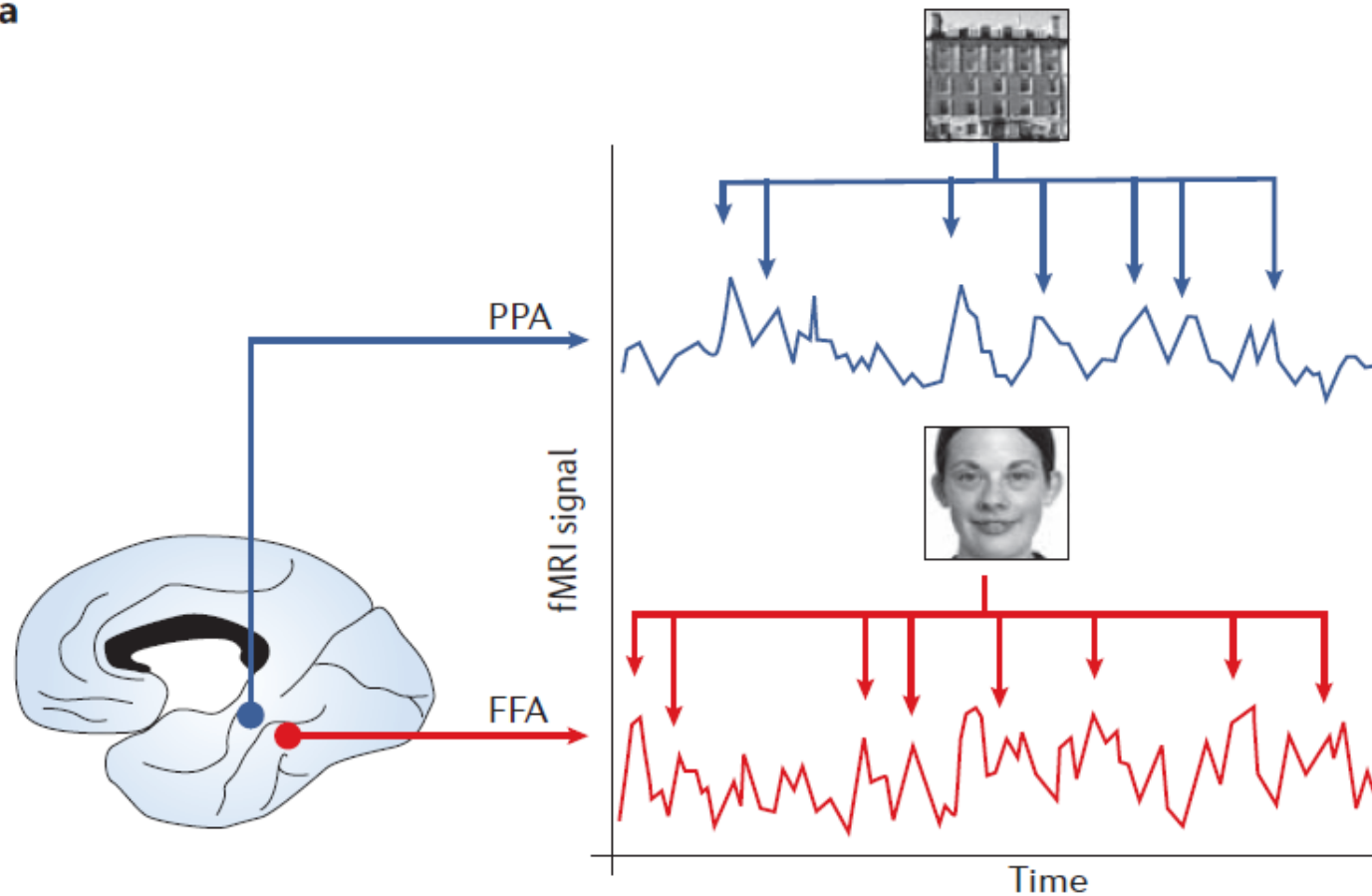
**Neuere Entwicklungen:
„Neural Decoding “ mittels Multi-Voxel-Pattern-Analyse**

“Gedankenlesen” aufgrund von Hirnaktivität?

- Kann man neuronale Aktivierungsmuster verwenden, um vorherzusagen, was eine Person denkt?

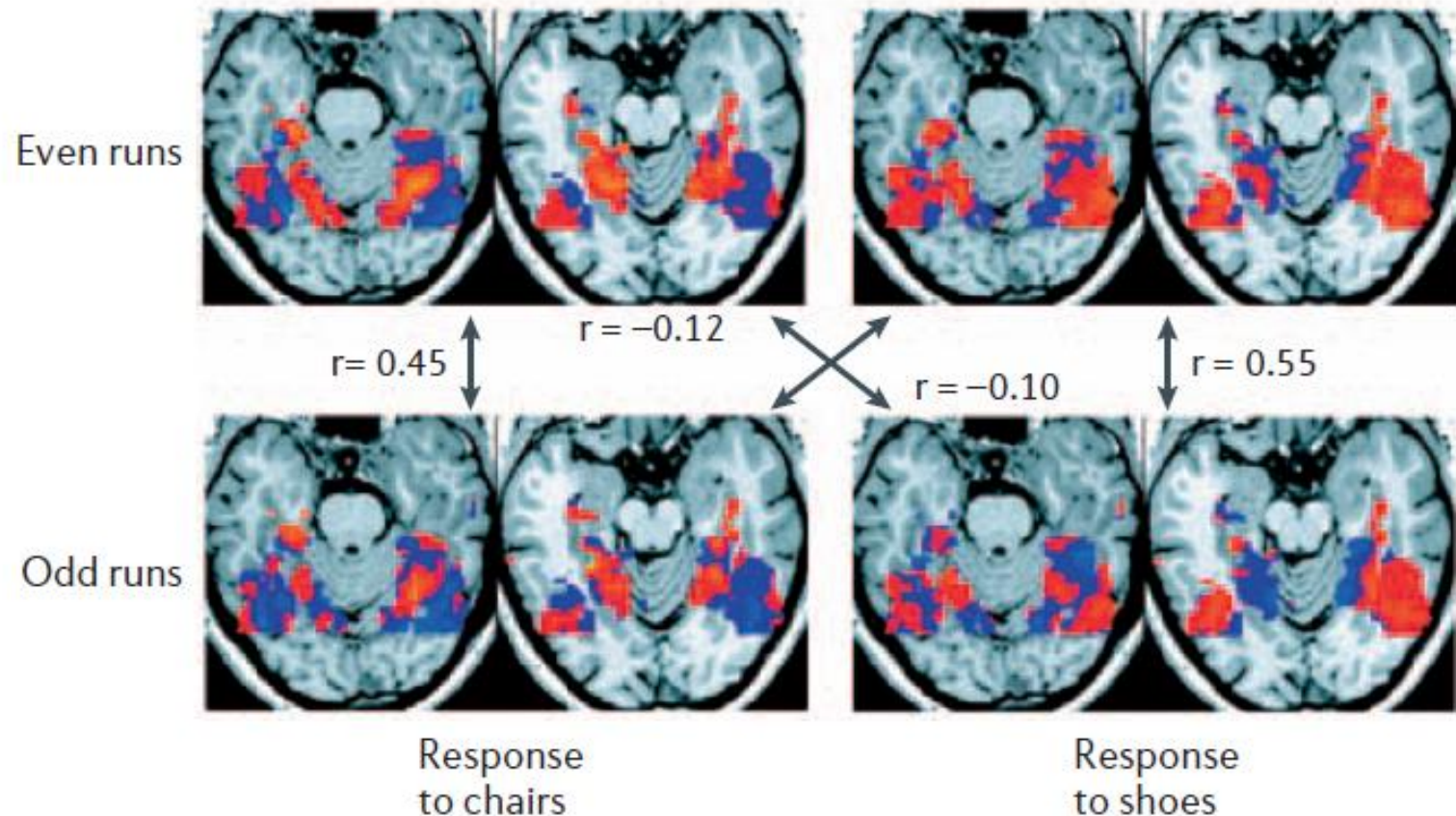
Decoding visual object perception from fMRI responses

a



Haynes, J. D., & Rees, G. (2006). Decoding mental states from brain activity in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 523-534.

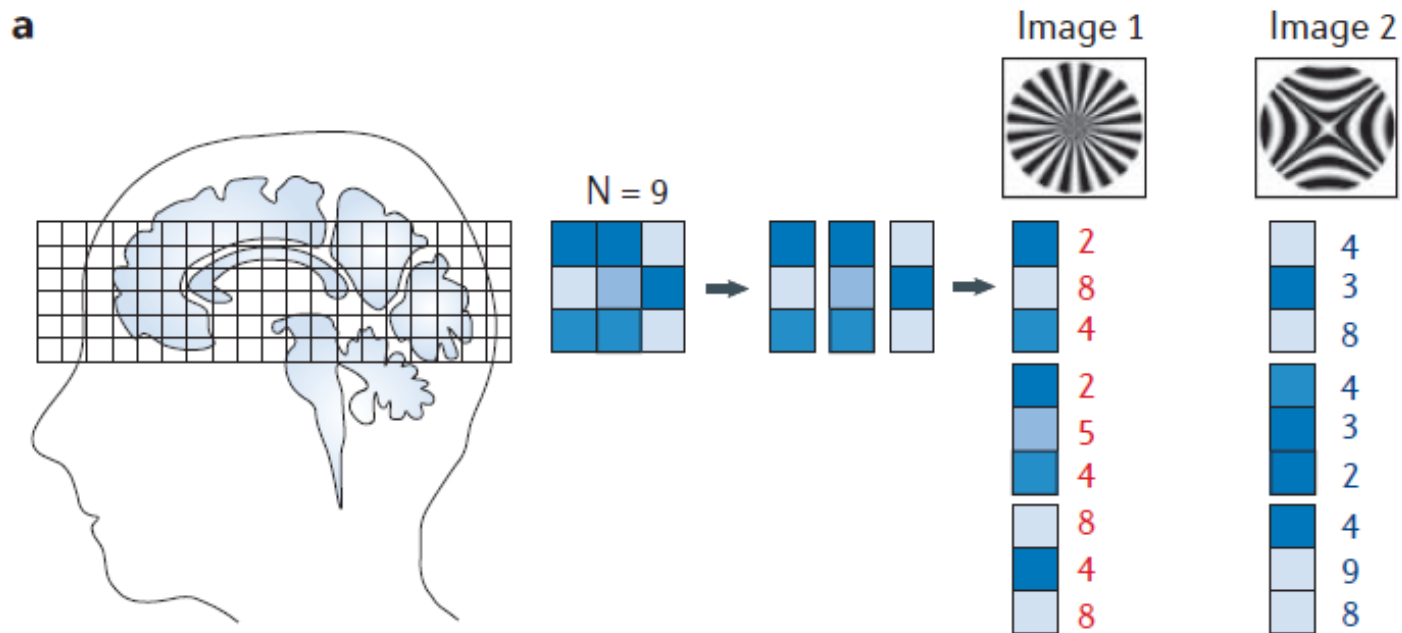
Decoding visual object perception from fMRI responses



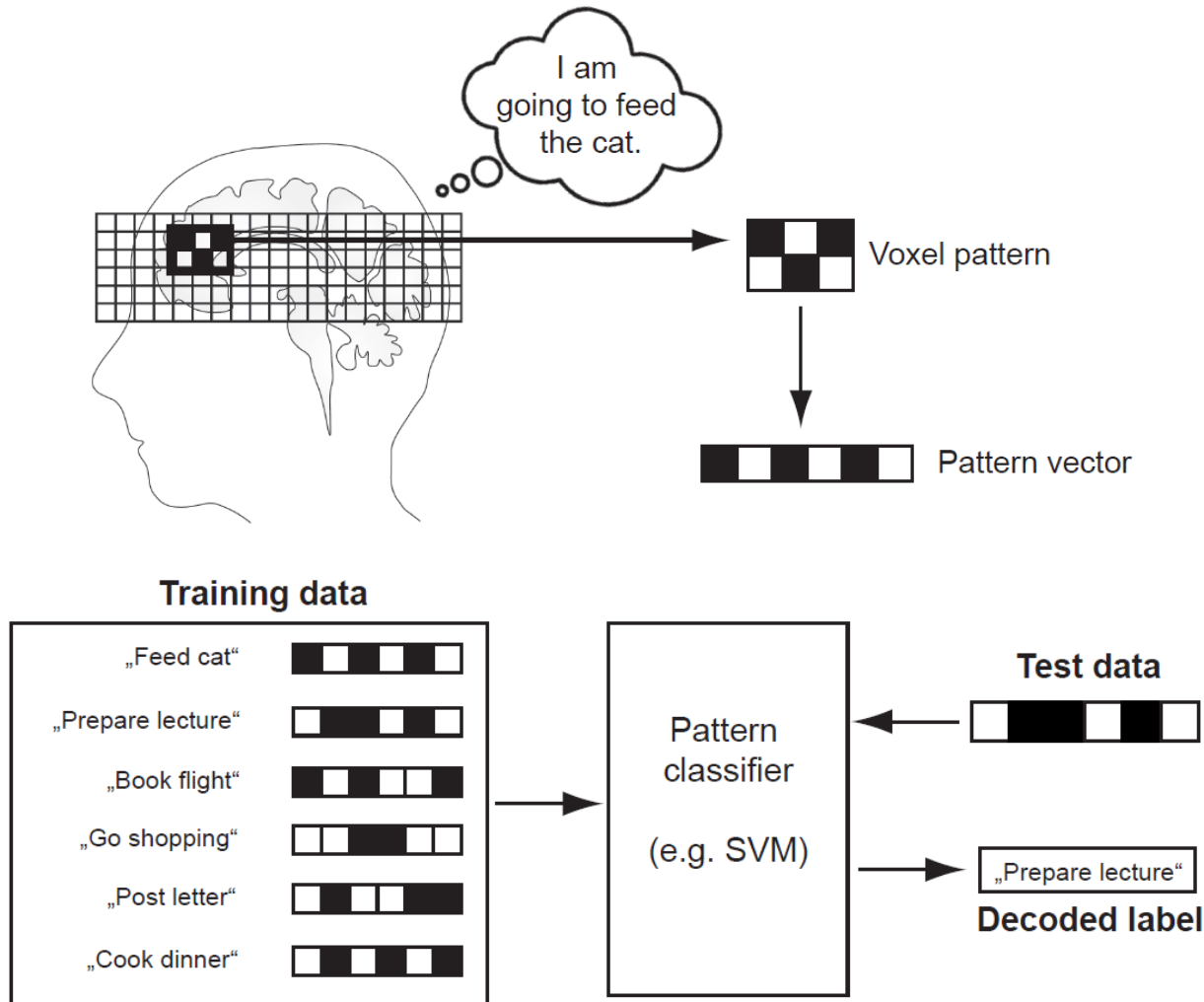
Haynes, J. D., & Rees, G. (2006). Decoding mental states from brain activity in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 523-534.

Multi-Voxel-Pattern-Analyse

- fMRI misst Hirnaktivität = lokale Veränderungen im Verhältnis von oxygeniertem und deoxygeniertem Hämoglobin aufgrund neuronaler Aktivität in einer großen Zahl von “Voxeln”
- Aktivität in einer Teilmenge von Voxeln = räumliches Muster, das als Vektor kodiert werden kann
- Verschiedene Muster-Vektoren spiegeln unterschiedliche mentale Zustände (z.B. Zustände beim Ansehen oder Imaginieren unterschiedlicher Bilder).



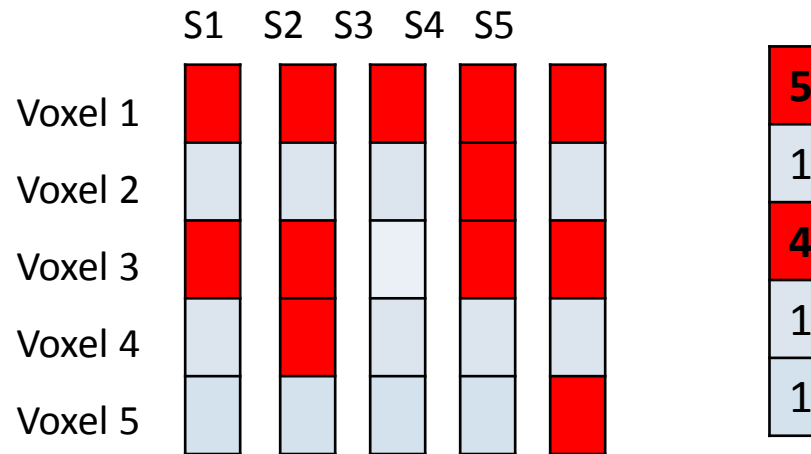
Multi-Voxel-Pattern-Analyse



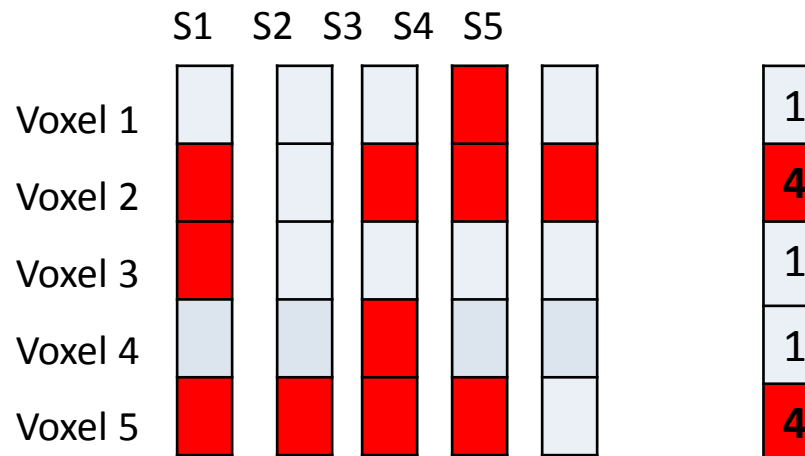
Haynes, J. D., & Rees, G. (2006). Decoding mental states from brain activity in humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(7), 523-534.

Multi-Voxel-Pattern-Analyse

Gebäude

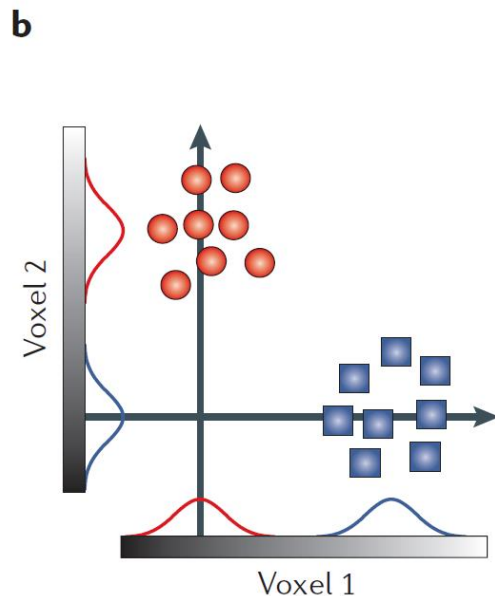


Gesichter

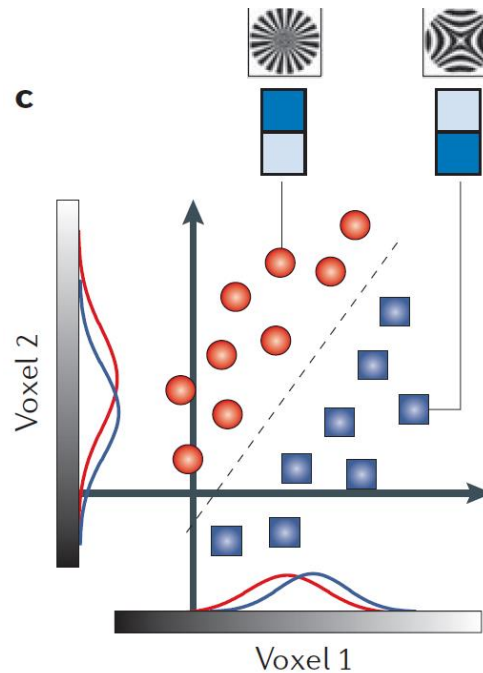


Multi-Voxel-Pattern-Analyse

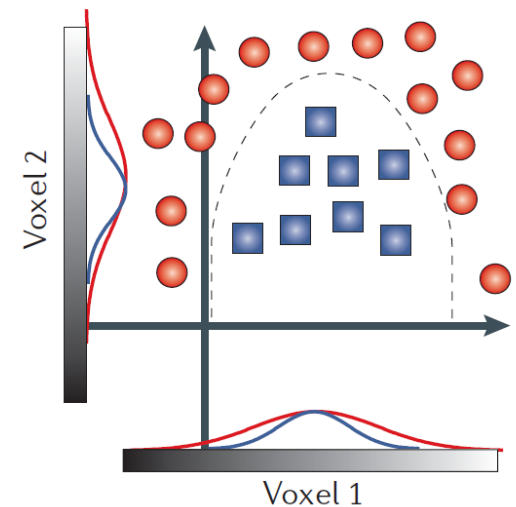
Each pattern vector = a point in N-dimensional space (shown here for only two dimensions; red and blue indicate the two conditions). Each measurement of brain activity corresponds to a single point. A successful classifier will learn to distinguish between pattern vectors measured under different mental states.



The classifier can operate on single voxels because the response distributions (red vs. blue) are separable within individual voxels

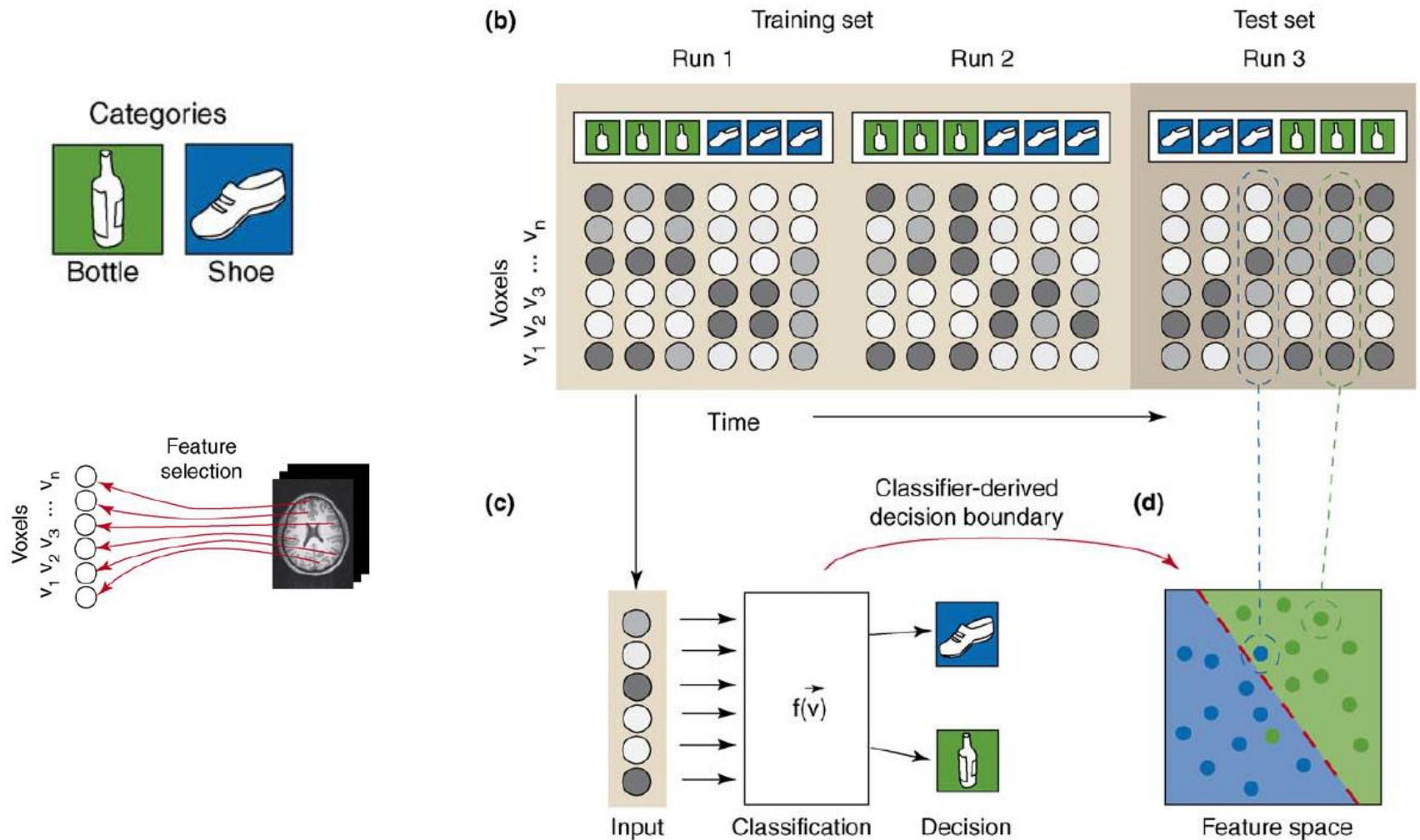


The two categories cannot be separated in single voxels because the distributions overlap. The distributions can be separated by a linear decision boundary when taking into account both voxels.

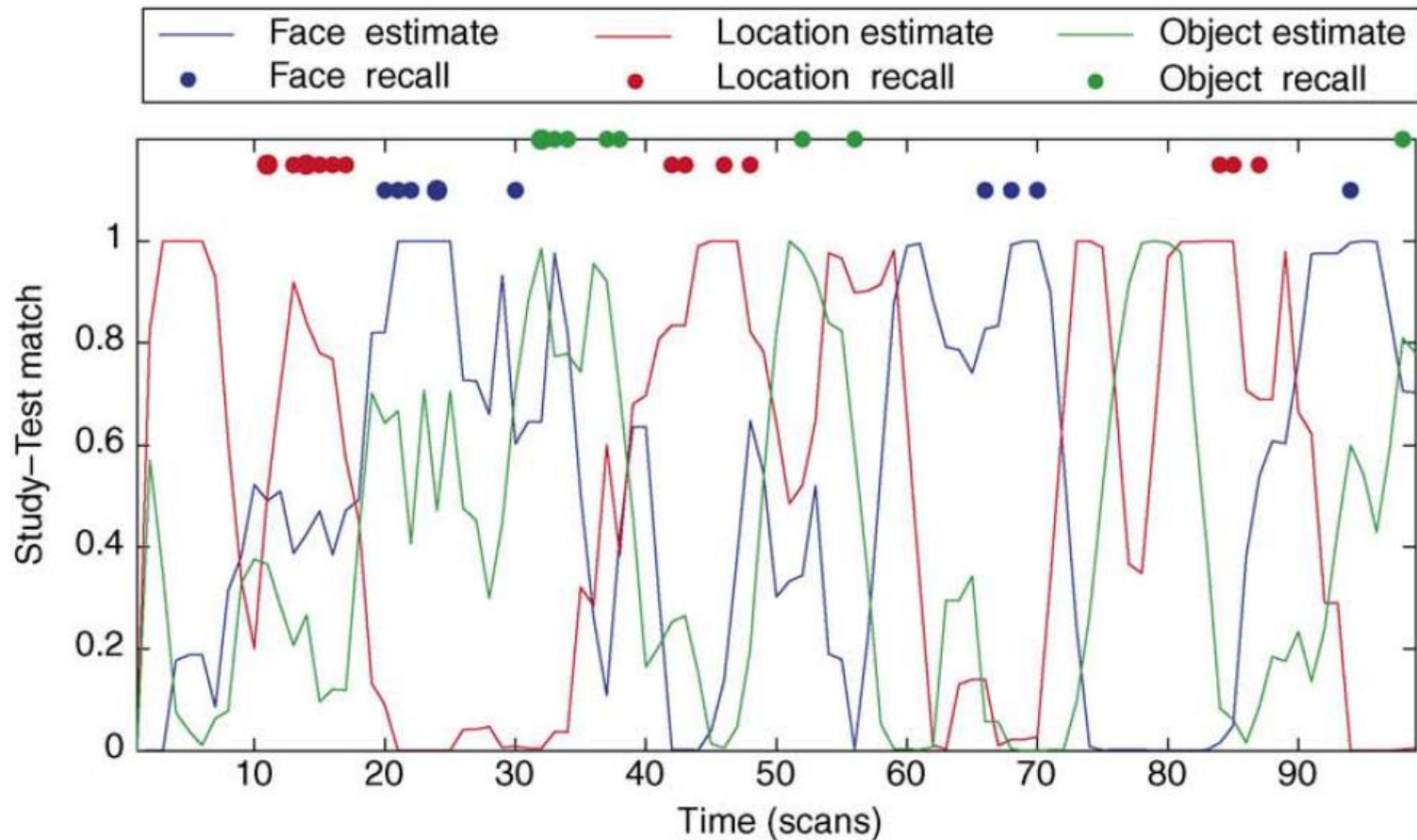


A linear decision boundary is not sufficient and a curved decision boundary is required (nonlinear classifier).

Multi-Voxel-Pattern-Analyse



Multi-Voxel-Pattern-Analysis beim Gedächtnisabruf

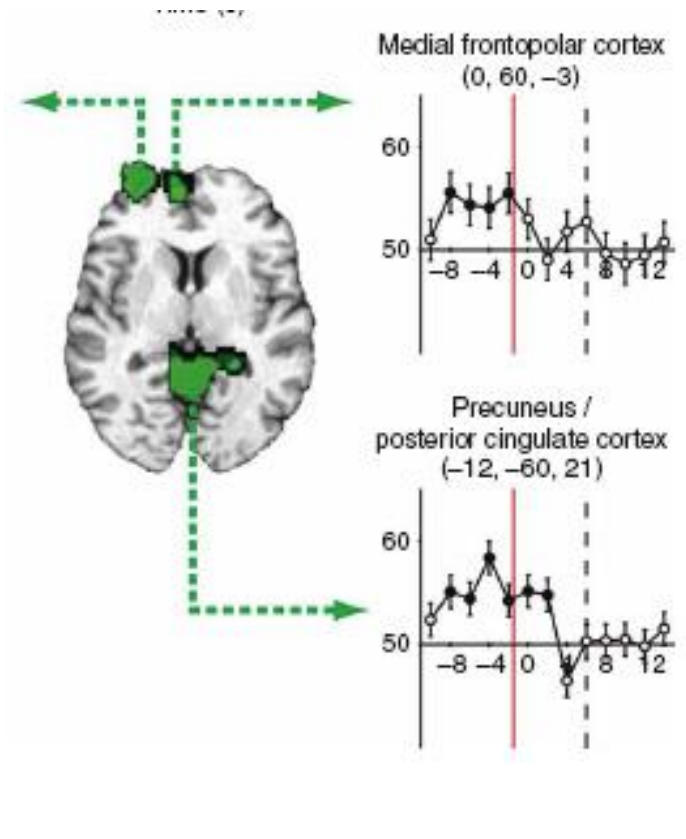
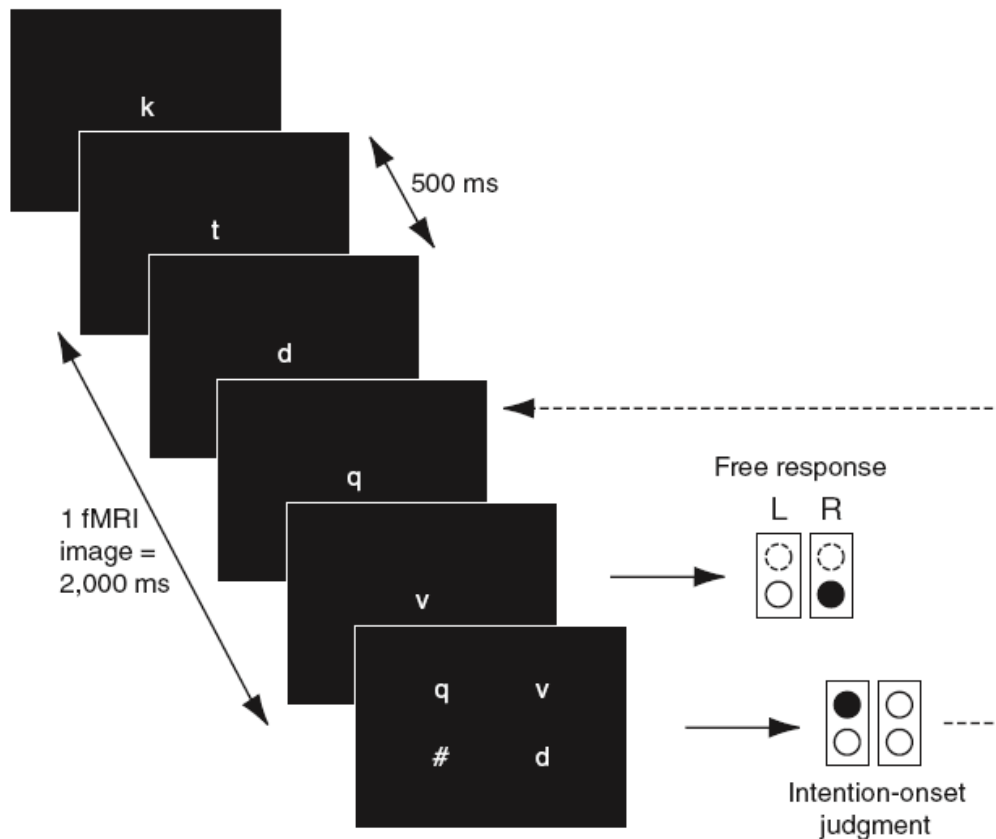


Polyn, S.M. *et al.* (2005) Category-specific cortical activity precedes recall during memory search. *Science* 310, 1963–1966

Unconscious determinants of free decisions in the human brain

Chun Siong Soon^{1,2}, Marcel Brass^{1,3}, Hans-Jochen Heinze⁴ & John-Dylan Haynes^{1,2}

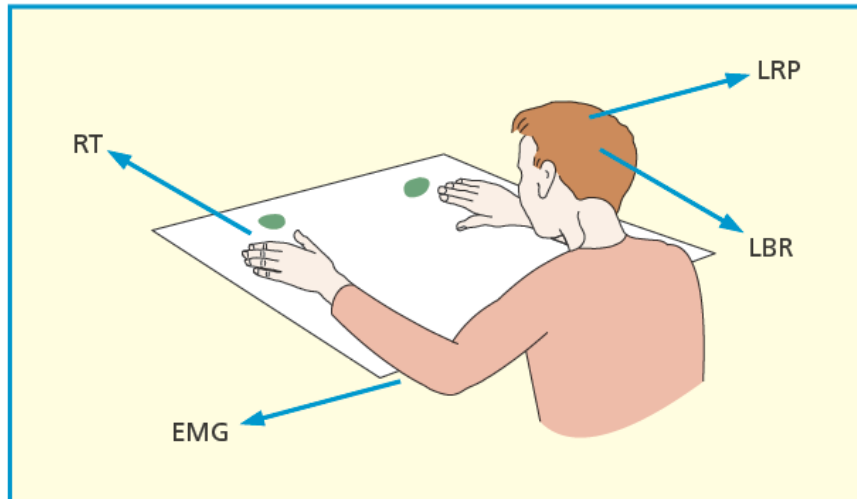
**nature
neuroscience**



Grenzen und Kritik funktioneller Bildgebungsmethoden

“WO aber nicht WIE”

Häufig geäußerte Kritik: “Funktionelle Bildgebungsstudien sagen uns WO kognitive Prozesse stattfinden, aber nicht WIE sie funktionieren”

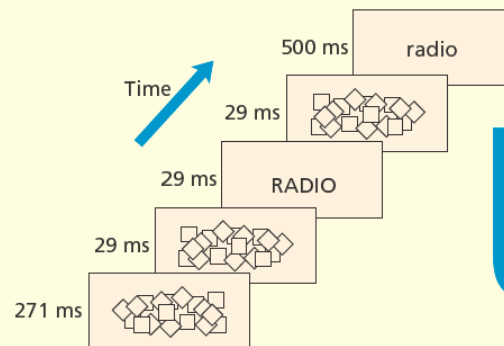


- Aber: Reaktionszeiten sagen uns auch nicht WIE kognitive Prozesse funktionieren (sondern wieviel Zeit sie benötigen)
- Was wir messen (Reaktionszeiten, Fehler, regionale Hirndurchblutung) sind immer *Daten*
- Es sind *Theorien* (nicht Daten), die das WIE der Kognition erklären
- Insofern liefern funktionelle Bildgebungsdaten eine weitere abhängige Variable für die Überprüfung von Theoriebildung

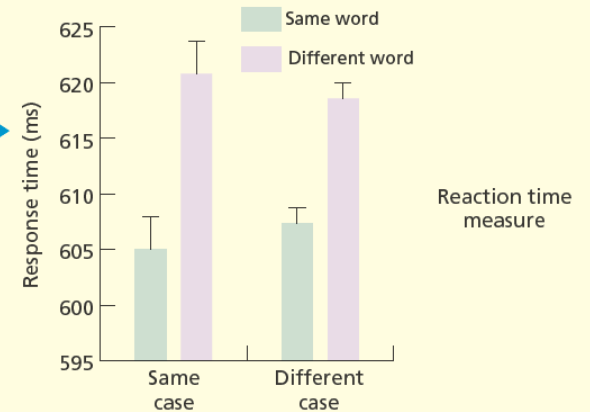
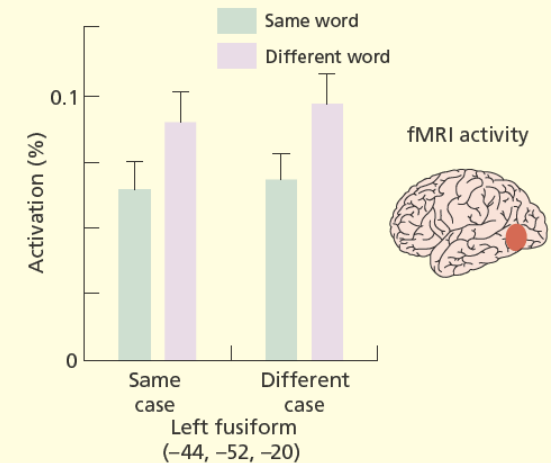
“WO aber nicht WIE”: Ein Gegenbeispiel

- Sind visuelle Wortrepräsentationen unabhängig von der Groß- vs. Kleinschreibung?

	Größe gleich	Größe verschieden
Bedeutung gleich	RADIO – RADIO	RADIO - radio
Bedeutung verschiedene	MAUS – RADIO	MAUS - radio



Dehaene et al. (2001)



Die Macht der Bilder – Eine neue Phrenologie?



Franz Joseph Gall
(1758-1828)

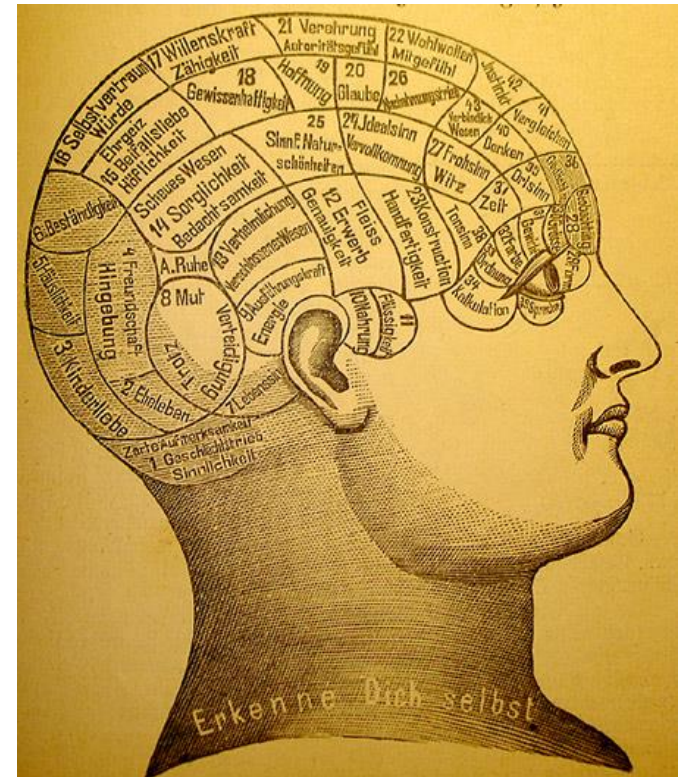


Johann Spurzheim
(1776-1832)

- Unterschiede in kognitiven Fähigkeiten oder Persönlichkeitszügen → unterschiedliche Größe kortikaler Regionen → Ausbeulungen (bumps) auf dem Schädel



from Gall (c. 1810)



Phrenologie als Pseudowissenschaft vs. die These der funktionalen Spezialisierung

- Kritik der Phrenologie als Pseudowissenschaft
 - Krude Einteilung psychologischer Funktionen ohne echte wissenschaftliche Grundlage
 - Keine Spezifikation von Mechanismen
 - Anekdotische Evidenz

- Aber: zentrale Annahme der *Lokalisation psychischer Funktionen (funktionale Spezialisierung)* bestimmt bis heute die Forschung

- Moderne Ansätze
 - Die meisten Hirnregionen sind nicht nur an *einer* bestimmten Funktion beteiligt
 - Die meisten Funktionen haben nicht *eine* bestimmte Lokation
 - Komplexe Funktionen (z.B. Objektwahrnehmung, Erinnern, Entscheiden) beruhen auf *verteilten Netzwerken interagierender Hirnsysteme*
 - Innerhalb solcher Netzwerke können Teilsysteme eine mehr oder weniger große funktionale Spezialisierung für Teilfunktionen aufweisen

Die Macht der Bilder – Eine neue Phrenologie?

- Uttal (2001): funktionelle Bildgebung sei moderne Form von Phrenologie
- Häufige Trivialisierungen + Überinterpretation von Bildgebungsbefunden in den Medien
- Empirische Studie: Personen neigen eher dazu, Scheinerklärungen für mentale Phänomene zu akzeptieren, wenn diese zusammen mit einem Hirn-Scan präsentiert werden
- Gegenargumente:
 - Ziel der K.N. ist nicht Lokalisation per se, sondern Verständnis der komputationalen Mechanismen, nach denen das Gehirn funktioniert
 - Fokus liegt auf Netzwerken interagierender Hirnsysteme
 - Funktionelle Anatomie baut auf theoriegeleiteten Experimenten und kognitionspsychologischen Paradigmen auf



■ TABLE 3.1 Summary of the Major Imaging Techniques Used in Cognitive Neuroscience (Part 1)

Technique	Main Advantages	Main Disadvantages
Naturally occurring lesions	Can strongly implicate a region as being essential for a task Occur naturally	Still generally need double dissociation to strongly confirm selectivity of area Not specific to functional areas; variable in distribution and extent Does not identify a network No temporal resolution Relatively few available subjects; subjects often from heterogeneous groups Effects of recovery unknown or complex
Directed lesions	Can strongly implicate a region as being essential for a task Can be much more selective than naturally occurring lesions Can be timed (e.g., before or after training)	Can generally be done only in animals; ethical concerns Very limited temporal resolution
Intracranial stimulation	Can provide rather specific neural perturbation	Mostly limited to animals and rare clinical circumstances In humans, clinical concerns, limited locations that can be stimulated

■ TABLE 3.1 Summary of the Major Imaging Techniques Used in Cognitive Neuroscience (Part 2)

Technique	Main Advantages	Main Disadvantages
Transcranial magnetic stimulation (TMS)	Advantages of lesions, but transient and noninvasive (or at least nonsurgical) With single-shot, can get some temporal resolution	Can mostly only do superficial cortex Not very focused; stimulates other areas nearby and above the target area Even for some superficial brain regions, is too uncomfortable Some safety issues, particularly for repetitive TMS (rTMS)
Single-unit recordings	High spatial and temporal resolution Very specific (single neurons)	Only picks up some neurons (typically larger ones) Very invasive; almost completely limited to animals Typically from only one brain area, thus does not identify a network or network interactions
Electroencephalogram (EEG)	Good temporal resolution Good for state effects (e.g., arousal, sleep stages) Noninvasive Inexpensive, fast, and easy recording procedures	Coarse or problematic spatial resolution Not very specific for information processing or cognitive function

■ TABLE 3.1 Summary of the Major Imaging Techniques Used in Cognitive Neuroscience (Part 3)

Technique	Main Advantages	Main Disadvantages
Event-related potentials (ERPs)	Very high temporal resolution Noninvasive Inexpensive, fast, and easy recording procedures	Coarse or problematic spatial resolution Difficult to disentangle multicomponent activity Activity may be associated with but not essential for the task
Magnetoencephalograph (MEG)	Very high temporal resolution Better localization than ERPs Noninvasive	Picks up mainly only sulcal activity Limited spatial localization Much more expensive than ERPs Recordings very susceptible to interfering noise Activity may be associated with but not essential for the task
Positron emission tomography (PET)	Good spatial resolution (three-dimensional) Identifies network of regions associated with task	No temporal resolution Cannot do event-related designs (block design only) Need cyclotron Need to inject radioactive molecules Indirect measurement of neuronal activity Activated areas may be associated with but not essential for the task

■ TABLE 3.1 Summary of the Major Imaging Techniques Used in Cognitive Neuroscience (Part 4)

Technique	Main Advantages	Main Disadvantages
Functional magnetic resonance imaging (fMRI)	Very good spatial resolution Temporal resolution much better than PET Can do event-related designs Identifies network of regions associated with task Noninvasive	Spatial resolution still has limits (e.g., draining veins) Temporal resolution still very low (seconds) Indirect measurement of neuronal activity Activated areas may be associated with but not essential for the task
Optical imaging (hemodynamic)	High spatial resolution Temporal resolution a bit better than fMRI Can do event-related designs Can image all across a cortical area simultaneously	Almost exclusively limited to animals Temporal resolution still fairly low (hundreds of ms) Indirect measurement of neuronal activity Activated areas may be associated with but not essential for the task
Optical imaging (EROS)	Moderate spatial resolution Good temporal resolution Can do event-related designs Noninvasive	Low signal-to-noise ratio; may require multiple sessions or be able to image only limited brain regions Mainly sensitive to the more superficial cortical regions Activated areas may be associated with but not essential for the task