



FIAS

Frankfurt Institute for Advanced Studies



Wer regiert im Gehirn?

Wolf Singer

MPI für Hirnforschung

Frankfurt Institute of Advanced Studies

Ernst Strüngmann Institut für Hirnforschung

Paderborn 5.12.2012





Die Behauptungen der Neurobiologie

- Alles Wissen eines Menschen residiert in der funktionellen Architektur des Gehirns





Die Behauptungen der Neurobiologie

- Alles Wissen eines Menschen residiert in der funktionellen Architektur des Gehirns
- Die Regeln, nach denen dieses Wissen erworben, verhandelt und angewandt wird, residieren ebenfalls in dieser funktionellen Architektur





Die Behauptungen der Neurobiologie

- Alles Wissen eines Menschen residiert in der funktionellen Architektur des Gehirns
- Die Regeln, nach denen dieses Wissen erworben, verhandelt und angewandt wird, residieren ebenfalls in dieser funktionellen Architektur
- Alle, auch die höchsten mentalen Funktionen, beruhen auf neuronalen Prozessen





Die Behauptungen der Neurobiologie

- Alles Wissen eines Menschen residiert in der funktionellen Architektur des Gehirns
- Die Regeln, nach denen dieses Wissen erworben, verhandelt und angewandt wird, residieren ebenfalls in dieser funktionellen Architektur
- Alle, auch die höchsten mentalen Funktionen, beruhen auf neuronalen Prozessen
- Neuronale Prozesse gehorchen den Naturgesetzen





Was begründet diese Behauptungen?

Das Verhalten einfacher Organismen lässt sich
vollständig aus der Dynamik ihrer
Nervensysteme ableiten.

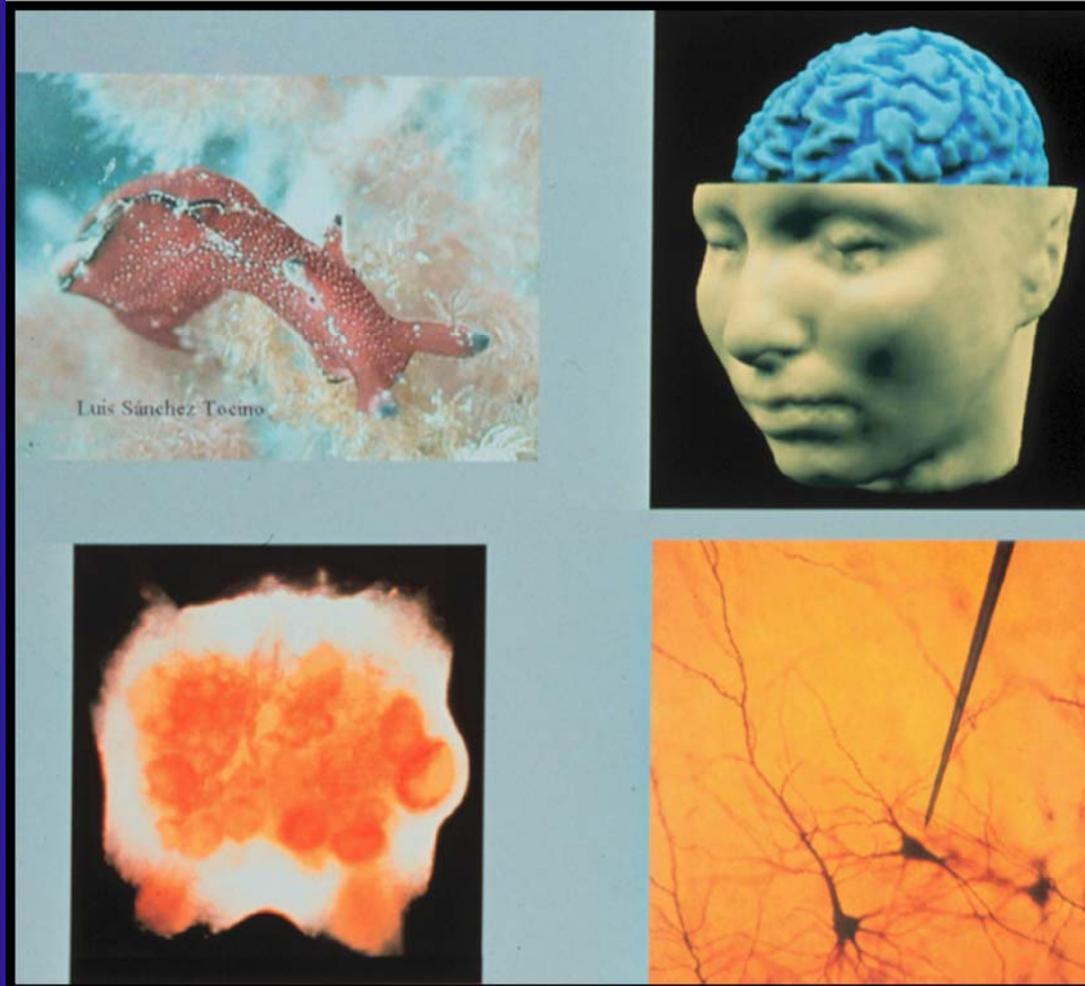
Zur Beschreibung dieser Systeme reichen die
bekannten Naturgesetze aus.



Die molekularen Bausteine der Nervenzellen und die Mechanismen der Signalübertragung haben sich unverändert erhalten

Evolution is conservative

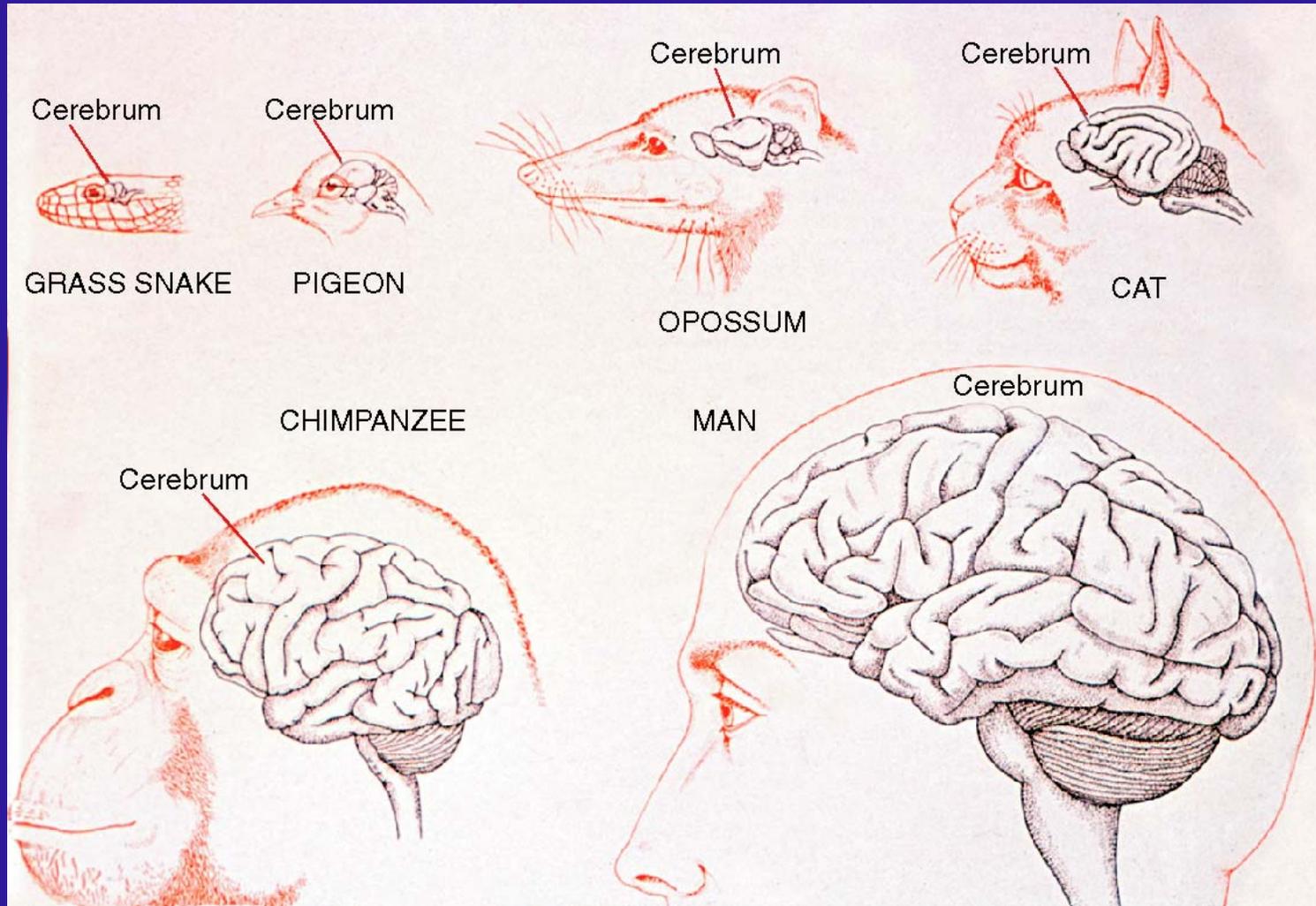
Von der
Schnecke



Bis zur
Hirnrinde

Die Großhirnrinde, die letzte bahnbrechende „Erfindung“ der Evolution arbeitet nach den gleichen Prinzipien.

Mehr vom Gleichen macht den großen Unterschied!





Implikationen der Hirnforschung für klassische philosophische Fragestellungen

Epistemologie

(Die Frage nach der Natur von Erkenntnis)

Das Leib-Seele Problem

Die Konstitution des intentionalen Ich

Freier Wille





Wahrnehmung aus der Sicht der Hirnforschung

Wahrnehmen ist ein aktiver,
konstruktiver Prozess.

Eine wissenschaftsbasierte Interpretation von
Sinnessignalen.



Die Konstruktion des Wahrgenommenen erfordert Vorwissen

Dieses Wissen und die Regeln nach denen Vorwissen mit Sinnessignalen verrechnet wird bestimmen, was und wie wir wahrnehmen.



Woher wissen wir, was wir
wissen und woher kommen die
Regeln, nach denen wir dieses
Wissen verarbeiten?

Diese Frage reduziert sich auf die
Frage nach den Determinanten der
funktionellen Architektur.





FIAS

Frankfurt Institute for Advanced Studies



Drei Prozesse bestimmen die funktionelle Architektur des Gehirns



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Drei Prozesse bestimmen die funktionelle Architektur des Gehirns

- Die Evolution (Quelle genetisch tradierten Wissens)
implizites Wissen





Drei Prozesse bestimmen die funktionelle Architektur des Gehirns

- Die Evolution (Quelle genetisch tradierten Wissens)
implizites Wissen
- Erfahrungsabhängige Entwicklung (epigenetisch)
implizites Wissen





Drei Prozesse bestimmen die funktionelle Architektur des Gehirns

- Die Evolution (Quelle genetisch tradierten Wissens)
implizites Wissen
- Erfahrungsabhängige Entwicklung (epigenetisch)
implizites Wissen
- Lebenslange Lernprozesse
explizites Wissen





Die funktionelle Architektur des
Gehirns ist somit durch
genetische und epigenetische
Faktoren festgelegt.

Die Unterscheidung zwischen den beiden
Determinanten ist oft schwierig





Angepaßte Verarbeitungsstrategien werden konserviert

Sie determinieren:

Sensorische Kategorien

Objektdefinitionen

Lernregeln

Regeln logischen Schließens

Aesthetische Kriterien

(Vieles davon teilen wir mit Tieren)





Was macht ein Objekt aus?

Antworten fand die
Gestaltpsychologie

Aber

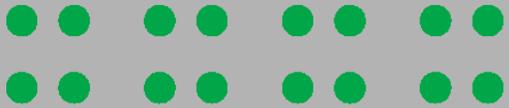
Gültig sind diese Regeln nur für die
mesoskopische Welt, in der sich
Leben manifestiert



GESTALTKRITERIEN



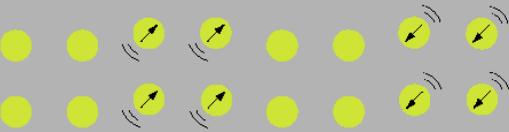
Kontinuität



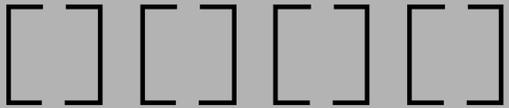
Nähe



Ähnlichkeit



"Gemeinsames
Schicksal"



Geschlossenheit



"Gute Fortsetzung"



Symmetrie

"PRÄGNANZ"

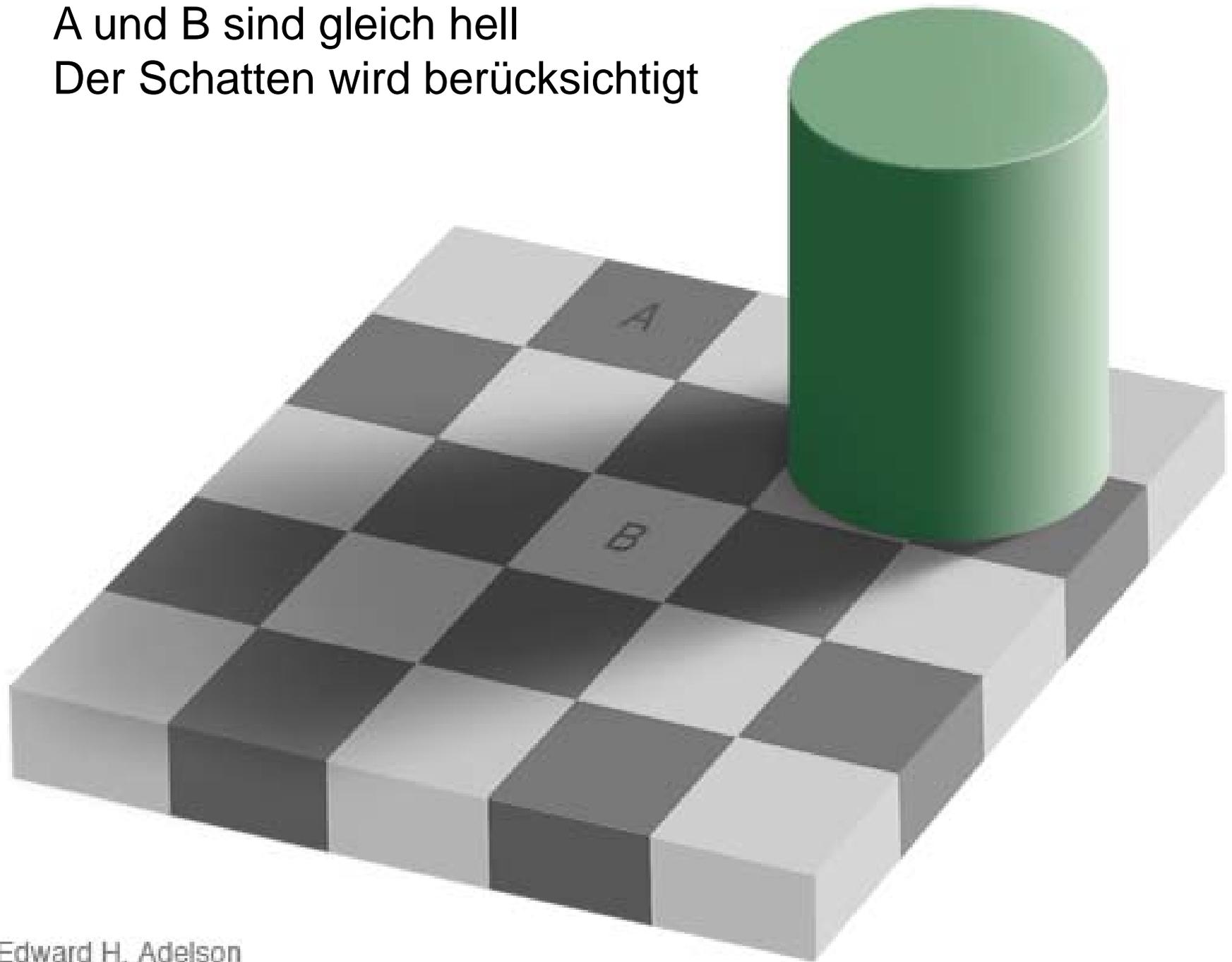


Beispiele für die Mächtigkeit impliziten a priori Wissens

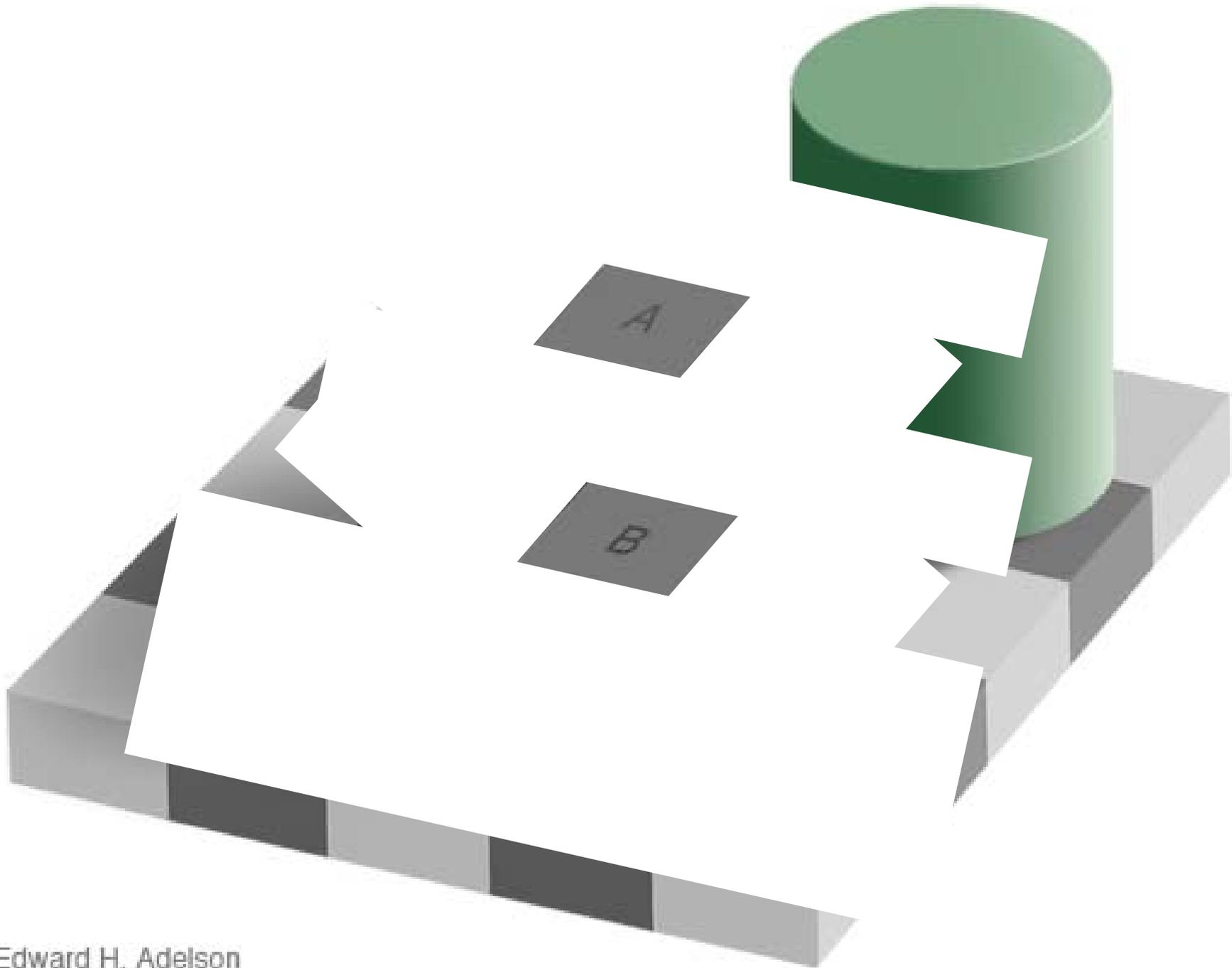
Die in der funktionellen
Architektur gespeicherten
Erwartungen bestimmen unsere
Wahrnehmungen



A und B sind gleich hell
Der Schatten wird berücksichtigt

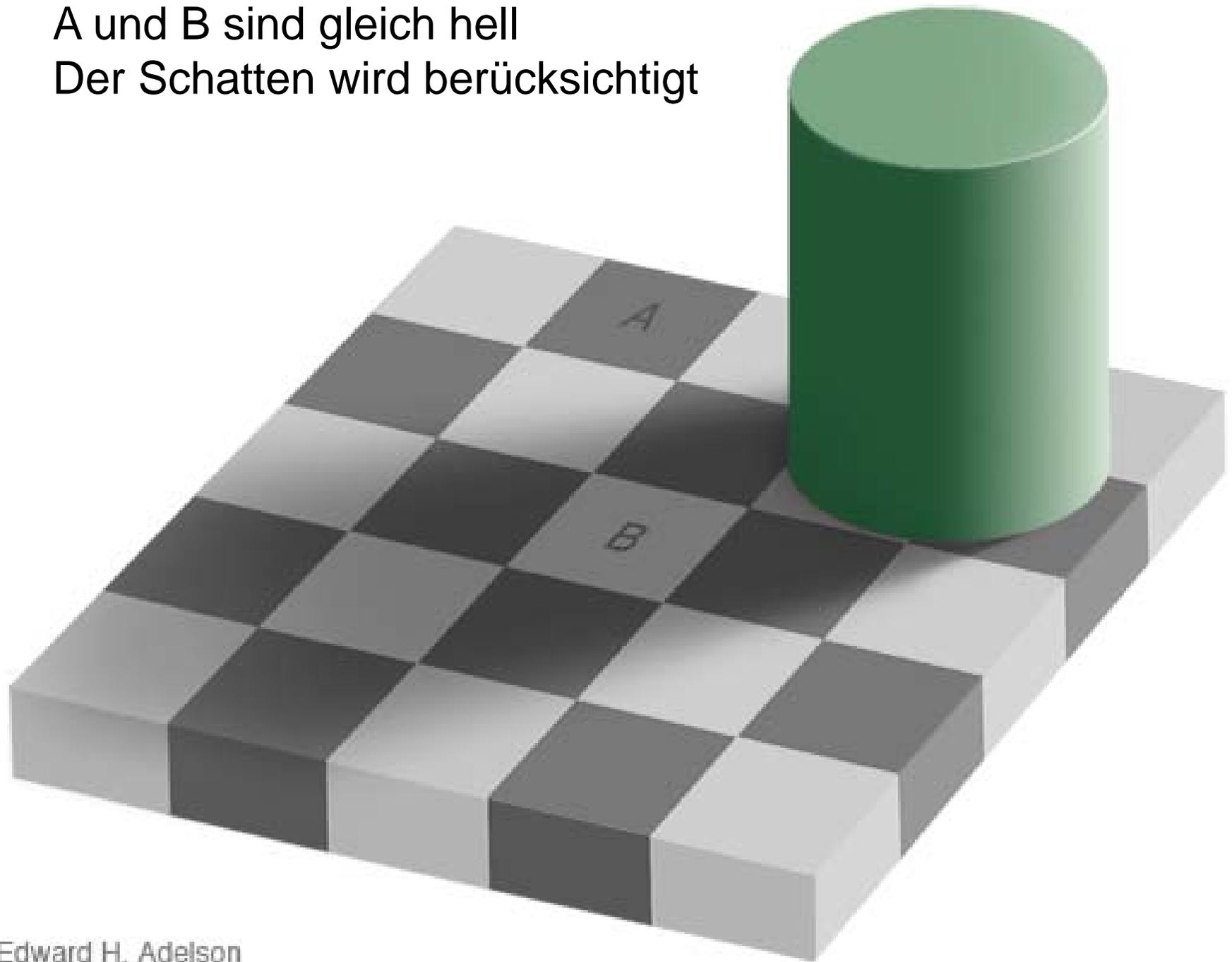


Edward H. Adelson



Edward H. Adelson

A und B sind gleich hell
Der Schatten wird berücksichtigt



Edward H. Adelson



Wie wir wahrnehmen wird auch durch
Wissen bestimmt, das wir durch frühe
Prägung erworben haben

Wie das evolutionäre Vorwissen ist
auch dieses Wissen implizit!

Wir wissen nicht, daß wir es haben!





Trotz nahezu unveränderter
genetischer Anlagen unterscheiden
sich unsere Gehirne nachhaltig von
denen unserer Höhlen bewohnenden
Vorfahren

Der Grund:
Epigenetische Prägung





Anders als das evolutionär
erworbene Wissen ist
Erfahrungswissen kulturspezifisch

Menschen aus unterschiedlichen
Kulturen nehmen soziale Realitäten
verschieden wahr, aber jeder erlebt
das Wahrgenommene als wahr





Bei der Wahrnehmung sozialer
Realitäten gibt es keine Möglichkeit,
zwischen wahr und falsch zu
unterscheiden, da die
„Dritte – Person- Perspektive“ fehlt

Diese Erkenntnis erfordert eine
Erweiterung unseres
Verständnisses von Toleranz





FIAS

Frankfurt Institute for Advanced Studies



Wie konstituieren sich unsere
Wahrnehmungen im Gehirn?

Gibt es einen verortbaren
Beobachter?





FIAS

Frankfurt Institute for Advanced Studies



Unsere Intuitionen über die
Organisation unserer Gehirne
widersprechen neurobiologischen
Erkenntnissen





Eine plausible, wenn auch epistemisch zirkuläre Vermutung

- Wir können nur erkennen, erdenken, uns vorstellen, was die kognitiven Leistungen unserer Gehirne zu fassen erlauben





Eine plausible, wenn auch epistemisch zirkuläre Vermutung

- Wir können nur erkennen, erdenken, uns vorstellen, was die kognitiven Leistungen unserer Gehirne zu fassen erlauben
- Diese kognitiven Leistungen verdanken sich evolutionärer Anpassung an jene Bedingungen der mesoskopischen Welt, die für Überleben wichtig sind





Eine plausible, wenn auch epistemisch zirkuläre Vermutung

- Wir können nur erkennen, erdenken, uns vorstellen, was die kognitiven Leistungen unserer Gehirne zu fassen erlauben
- Diese kognitiven Leistungen verdanken sich evolutionärer Anpassung an jene Bedingungen der mesoskopischen Welt, die für Überleben wichtig sind
- Dies ist, soweit wir wissen, ein winziger Ausschnitt der Welt





Eine plausible, wenn auch epistemisch zirkuläre Vermutung

- Wir können nur erkennen, erdenken, uns vorstellen, was die kognitiven Leistungen unserer Gehirne zu fassen erlauben
- Diese kognitiven Leistungen verdanken sich evolutionärer Anpassung an jene Bedingungen der mesoskopischen Welt, die für Überleben wichtig sind
- Dies ist, soweit wir wissen, ein winziger Ausschnitt der Welt
- Folglich müssen unsere kognitiven Leistungen begrenzt und eklektisch sein – vielleicht auch unsere Denkstrukturen!





Introspektion und Beobachtung des Gegenüber legen nahe

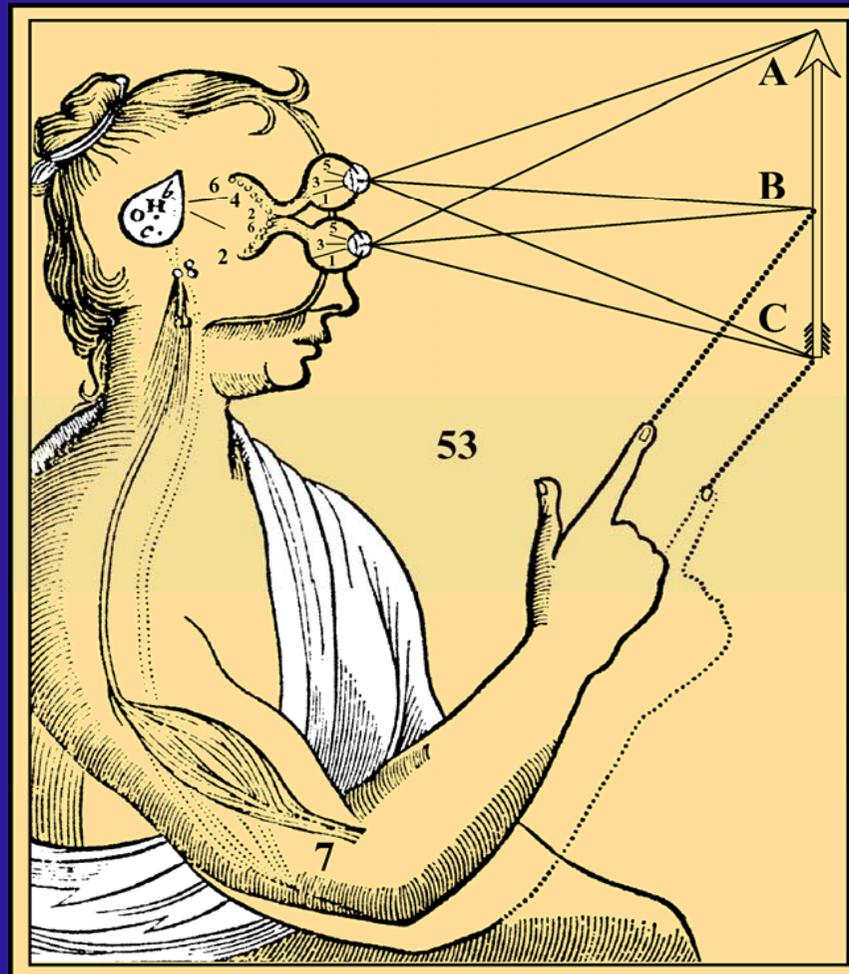
Im Gehirn regiert eine zentrale autonome
Instanz

Unser Ich

Sie bewertet, nimmt wahr, entscheidet,
koordiniert, initiiert, ist kreativ.



Fast alle abendländischen Denktraditionen,
ob dualistische oder monistische, fordern eine
zentrale Instanz





Die wissenschaftliche Sicht:
Das Gehirn, ein distributives, sich
selbst organisierendes System mit
nichtlinearer Dynamik.

Es gibt keine übergeordnete Instanz

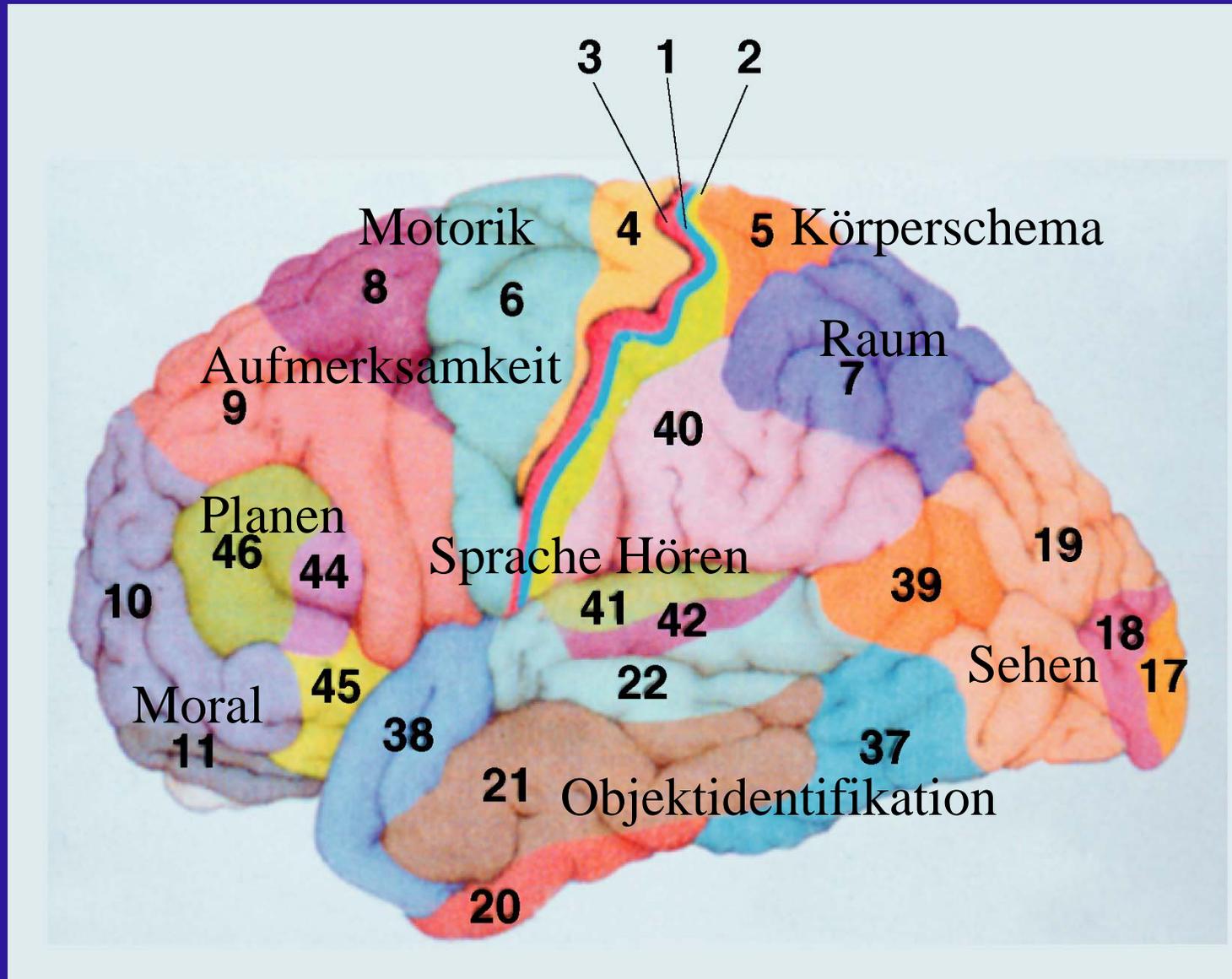
Keinen Beobachter

Keinen Beweger

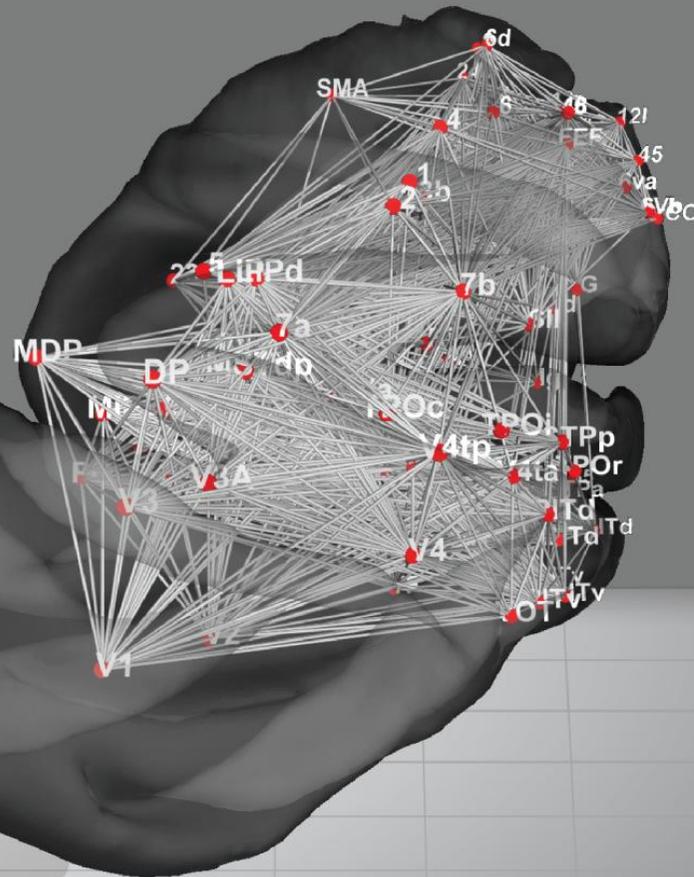
Keinen Entscheider



Hirnrinden-Areale weisen eine sehr ähnliche interne Verschaltung auf, arbeiten folglich nach gleichen Prinzipien, aber wenden diese auf unterschiedliche Informationen an



Verbindungsarchitektur visueller und motorischer Rindenareale von Primaten



From Hilgetag and Kaiser



Die Verbindungsarchitektur des Gehirns ähnelt der von „Small World Networks“

Internet, Soziale Systeme, Flugrouten-Netze

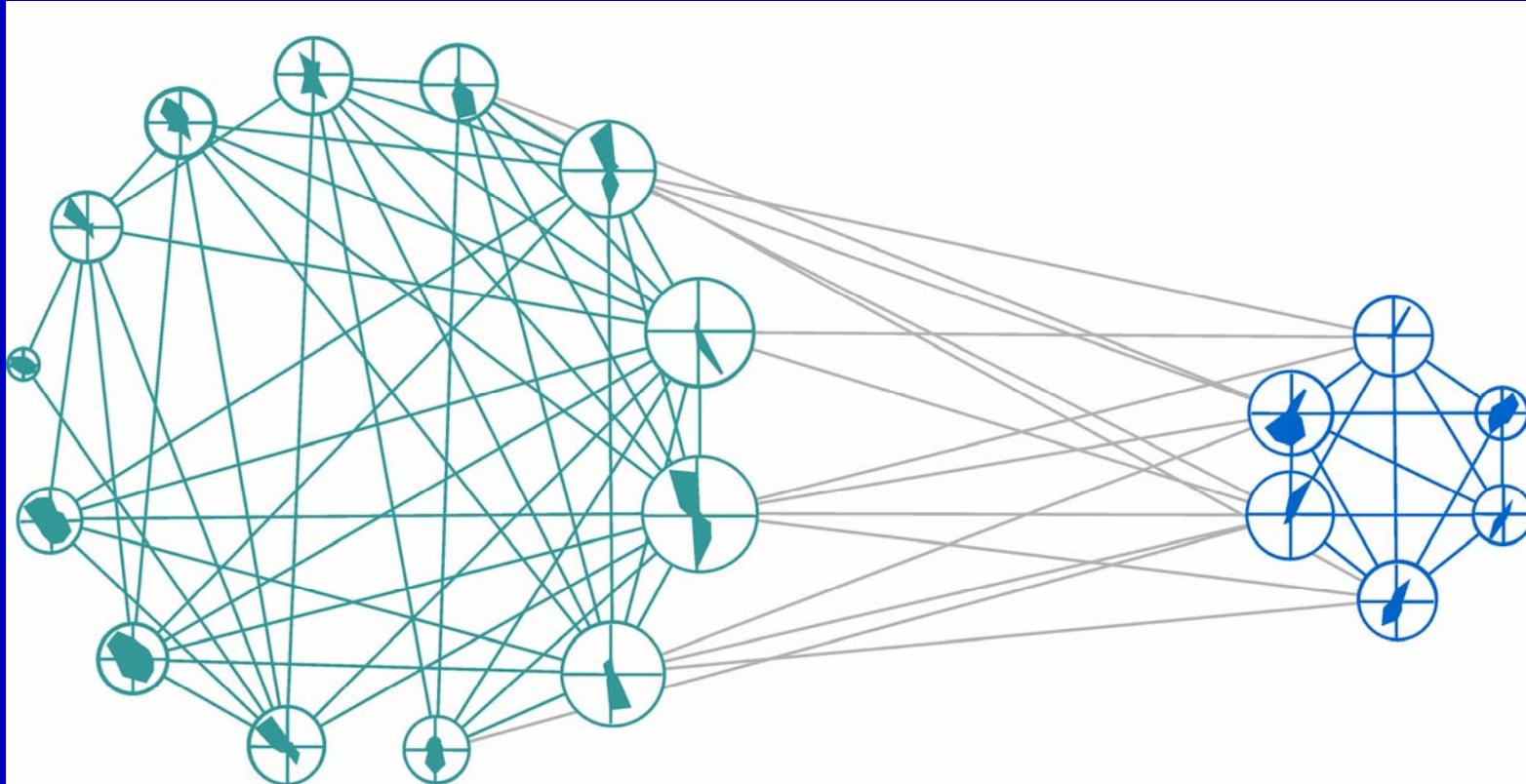
Ein Kompromiss zwischen 3 Strategien:

Jeder mit jedem – nur Nachbarn – randomisiert

Vorteil: Kürzeste Wege zwischen beliebigen
Orten



Verbindungen zwischen funktionellen Domänen der Hirnrinde.



Yu et al. 2008



Da es im Gehirn kein singuläres,
übergeordnetes Zentrum gibt

Wie entstehen kohärente Wahrnehmungen?

Wo und wie wird entschieden?

Wie werden koordinierte Aktionen geplant,
initiiert und ausgeführt?

Wie konstituiert sich das wollende „Ich“?





Die zentrale Frage.

Wie wird gebunden was zusammengehört
(z.B. die Attribute eines Objektes)

Und

Wie wird getrennt gehalten, was semantisch
unverbunden?



Welche Flächen gehören zum Hintergrund, welche zu den Figuren?





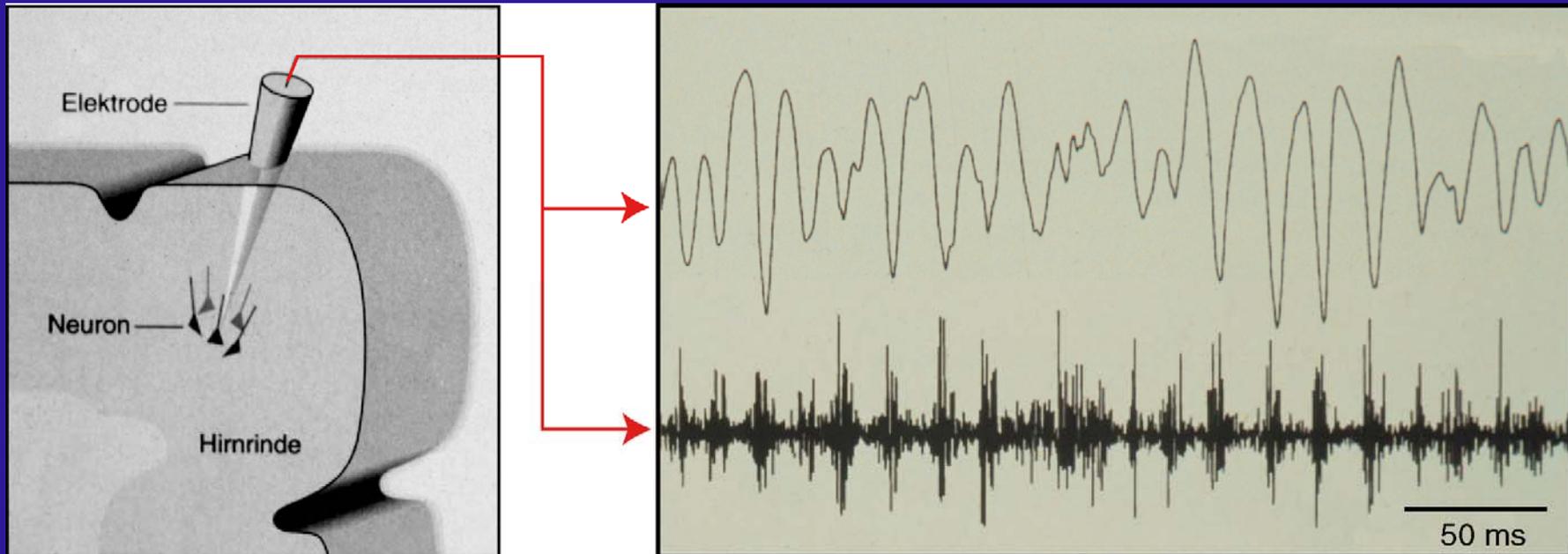
Ein wahrscheinlicher Mechanismus: Etablierung semantischer Relationen durch Definition zeitlicher Relationen:

Periodische Strukturierung neuronaler Aktivität
Etablierung präziser Phasenbeziehungen
(Synchronisation, Koinzidenz)



Synchrone oszillatorische Aktivität von Neuronengruppen in der Sehrinde

Feldpotentiale

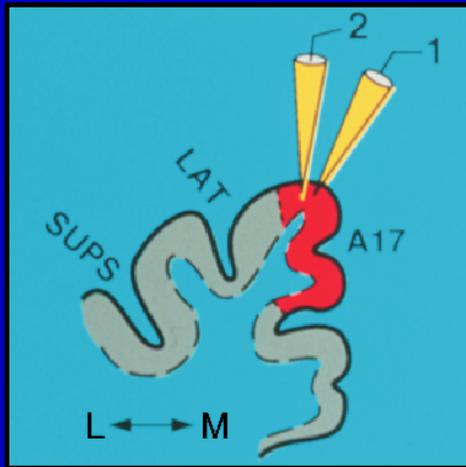


Zellentladungen

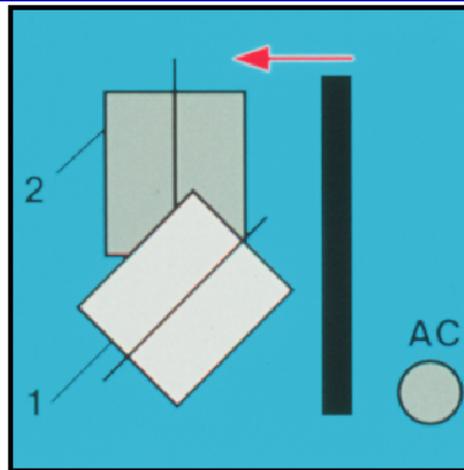
Vergleichbare Oszillationen finden sich in nahezu allen Hirnstrukturen

Räumlich getrennte Neuronengruppen können synchron oszillieren

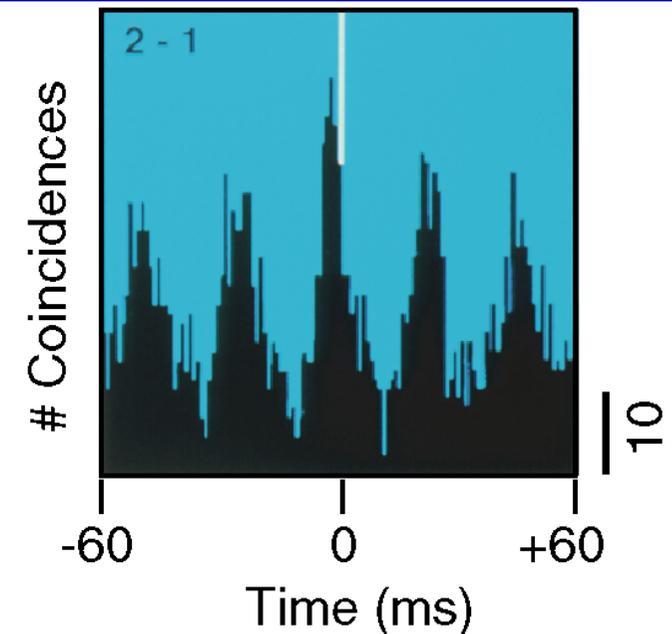
Doppelableitung



Reizbedingung

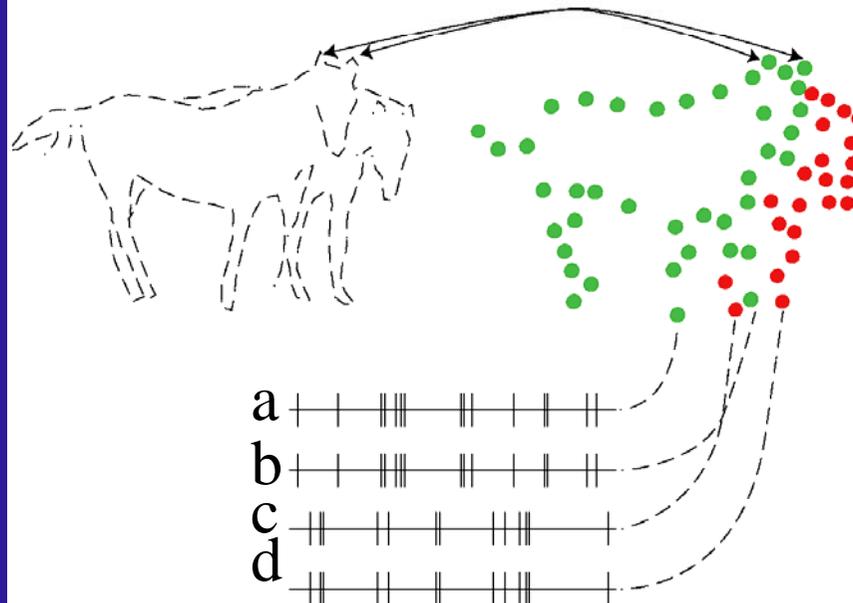


Korrelationsmuster



Wenn Neuronen „semantisch“ verbundene Inhalte repräsentieren, haben sie die Tendenz, ihre Aktivität zu synchronisieren

Neuronen, die das **gleiche** Objekt repräsentieren, entladen **synchron**



a und b synchron

c und d synchron

b und c asynchron



Also folgt:

Inhalte werden durch Assemblies kodiert, durch eine ad hoc gebundenen Gruppe weit verteilter Neuronen, von denen jedes einzelne jeweils nur Teilaspekte des zu repräsentierenden Inhaltes kodiert.





Dies gilt für alle Inhalte!

Also folgt:

Alle Prozesse, ob bewusst oder unbewusst,
(Wahrnehmen, Denken, Fühlen, Entscheiden)
beruhen auf komplexen
raum - zeitlichen Erregungsmustern,
an denen sich jeweils Myriaden, oft weit
verteilter Neuronen beteiligen





Ferner gilt:

Der jeweilige **Zustand** des Gesamtsystems wird vom unmittelbar vorausgehenden Zustand und von der Gesamtheit der gerade von außen einwirkenden Aktivitäten **bestimmt**.

Nur selten sind zwei mögliche Folgezustände gleichwahrscheinlich.

Dann entscheiden zufällige Fluktuationen.







Die Konstituierung einer
Entscheidung folgt den gleichen
Prinzipien wie die Konstituierung
der Repräsentation einer
Wahrnehmung

Es muss sich das stabilste, an
Widersprüchen ärmste Ensemble
ausbilden





Die neuronale Signatur einer Entscheidung

Ein Ort in einem hochdimensionalen Zustandsraum.

In anderen Worten:

Jenes raum-zeitliche Aktivierungsmuster, das in Anbetracht der Vorgeschichte und der aktuellen Umstände am konsistentesten ist.





Woher „weiß“ das System, dass es ein konsistentes Ergebnis erzielt bzw. eine Entscheidung getroffen hat ?

Wenn sich ein Aktivitätsmuster herausgebildet hat, das minimale Ambiguität und maximale Stabilität bzw. Kohärenz aufweist, wird dies von **Bewertungssystemen** erkannt.





Die Organisation der Bewertungssysteme

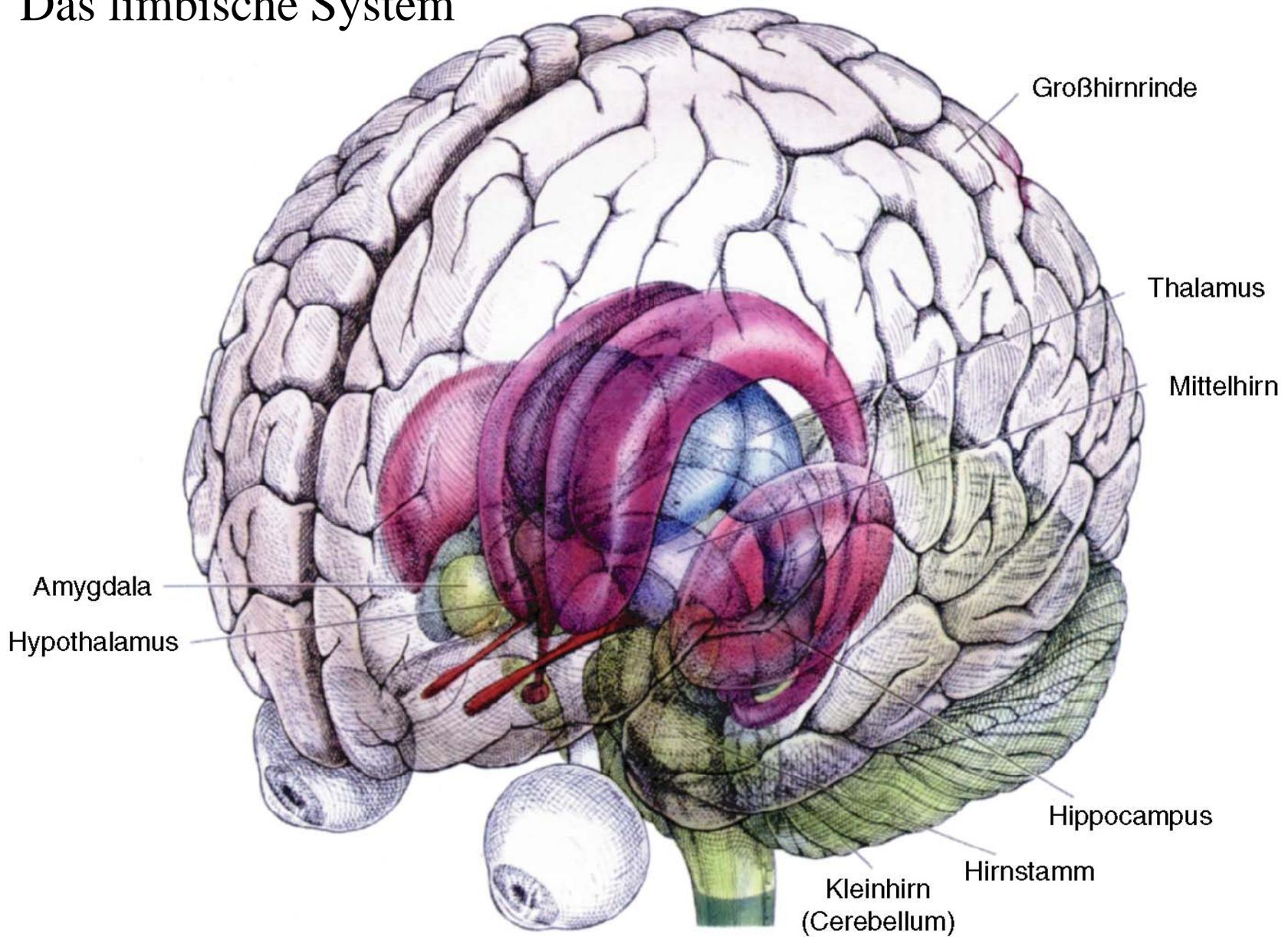
Es handelt sich um verteilte Subsysteme,
die globale Systemzustände auswerten.

Diese bedürfen keines „Fachwissens“.

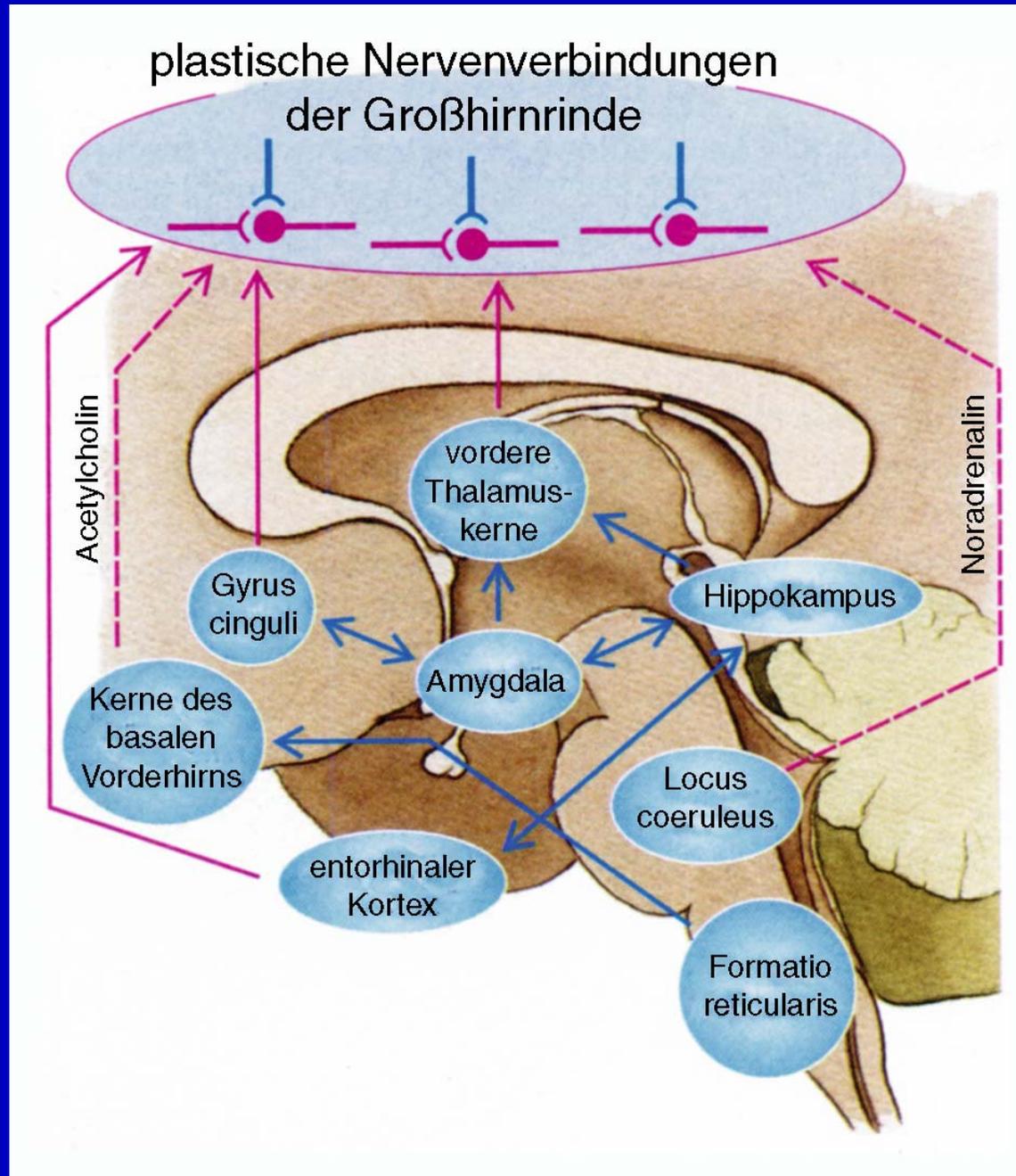
Sie erkennen Lösungen, beenden
Suchprozesse und erlauben Lernvorgänge.



Das limbische System



Die Bewertungssysteme sind distributiv organisiert





Konsequenzen für das Konzept der Willensfreiheit.

Wenn Entscheidungen neuronalen Zuständen entsprechen und diese notwendige Folge von Vorgeschichte und Kontext sind, dann ist auch die Entscheidung notwendige Folge!





Aber

Die Dynamik neuronaler Netzwerke ist
hochgradig nichtlinear !

(Das Gehirn ist weder Uhrwerk noch Computer)

Daraus folgt:

Trotz der Determiniertheit von Folgezuständen
sind längerfristige Entwicklungstrajektorien
grundsätzlich nicht voraussagbar.





Somit sind folgende Aussagen kompatibel:

Im Augenblick der Entscheidung gab es keine
Möglichkeit, sich anders zu entscheiden.

Wie sich eine Person entscheiden wird, ist
jedoch grundsätzlich nicht festgelegt.

Trotz geltender Kausalität ist Raum für
Kreativität und Unvorhersehbarkeit.





FIAS

Frankfurt Institute for Advanced Studies



Störungen neuronaler Kohärenz bei psychischen Erkrankungen

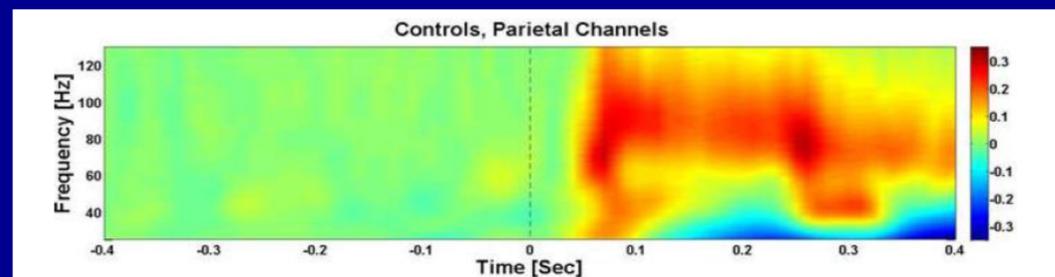
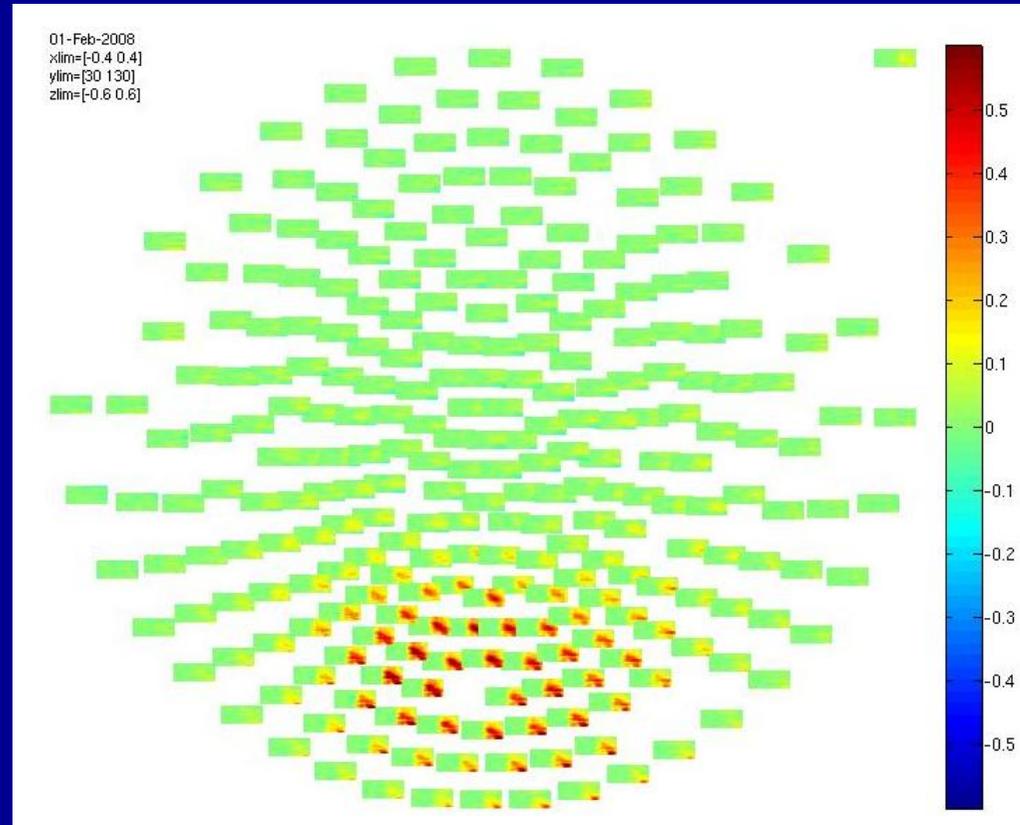
Schizophrenie

Autismus

Alzheimer



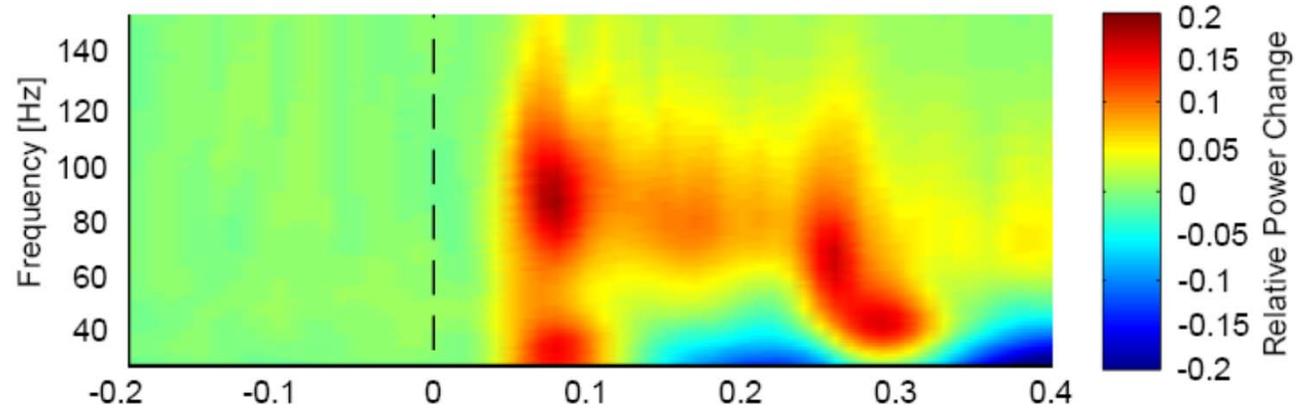
MEG Ableitungen und Quellenlokalisierung von Gamma-Oszillationen bei schizophrenen Patienten



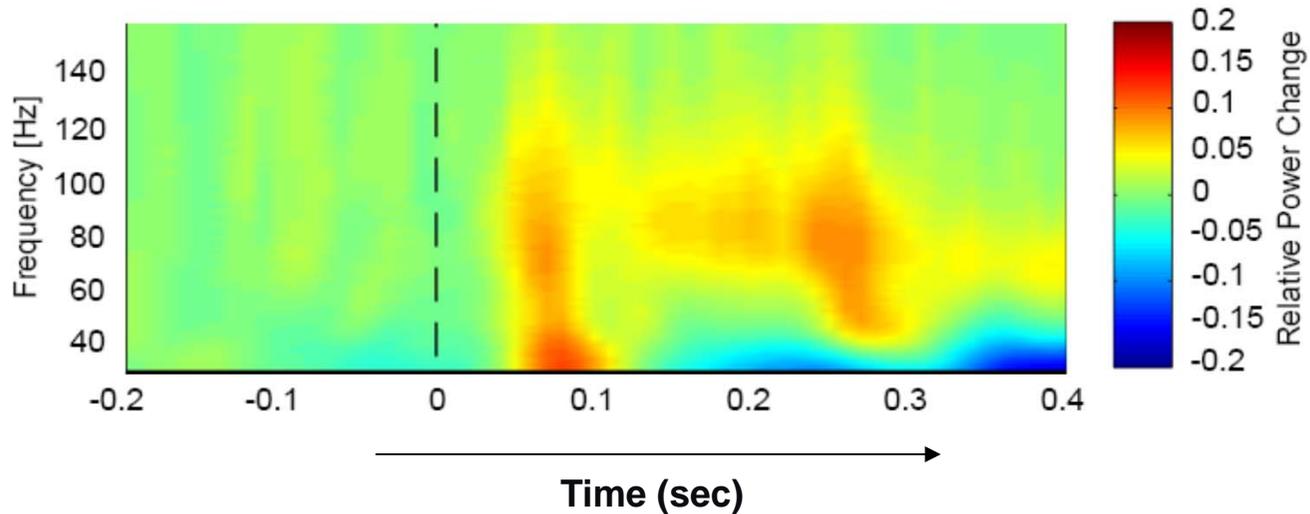
Impaired gamma oscillations in schizophrenic patients



Controls



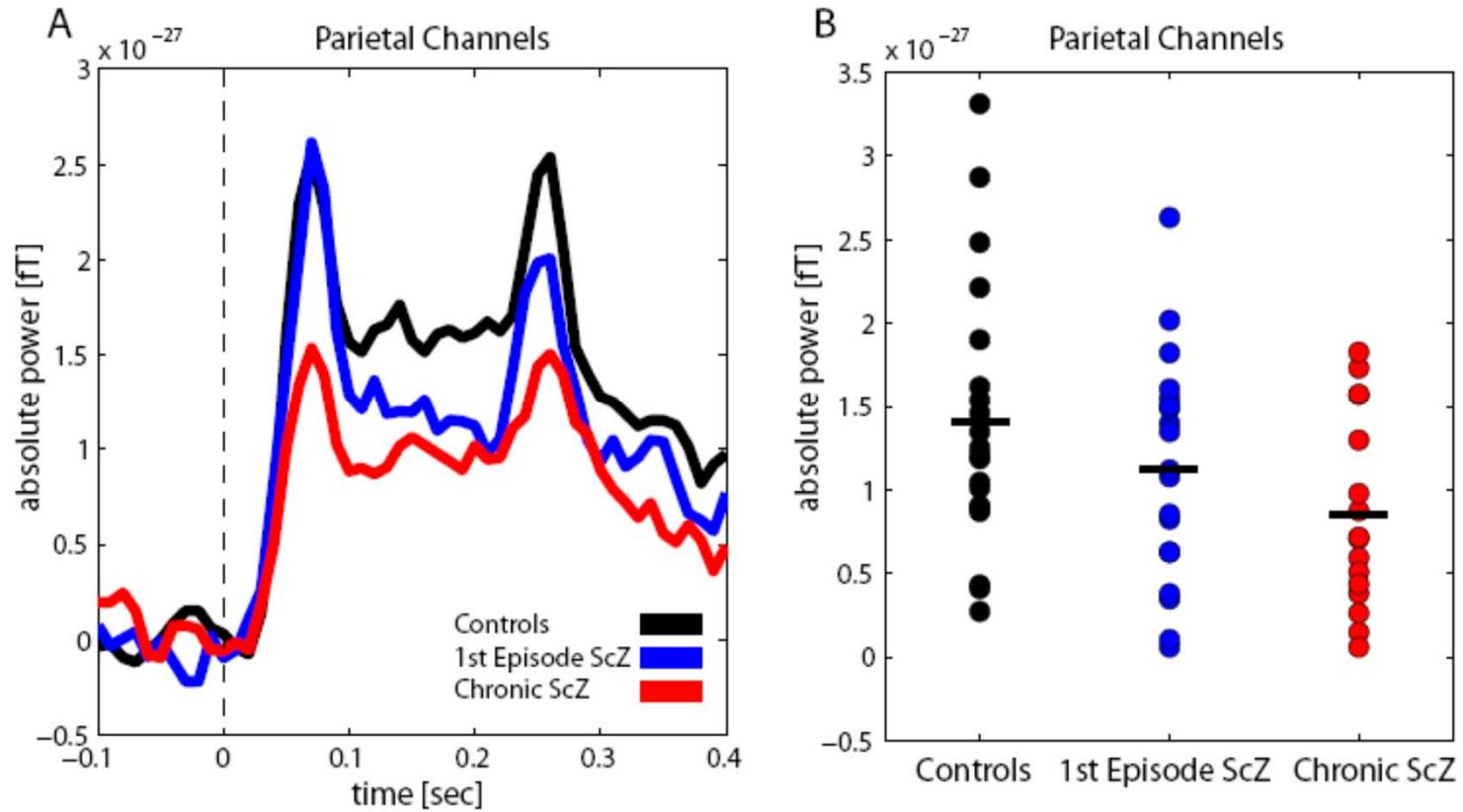
Patients



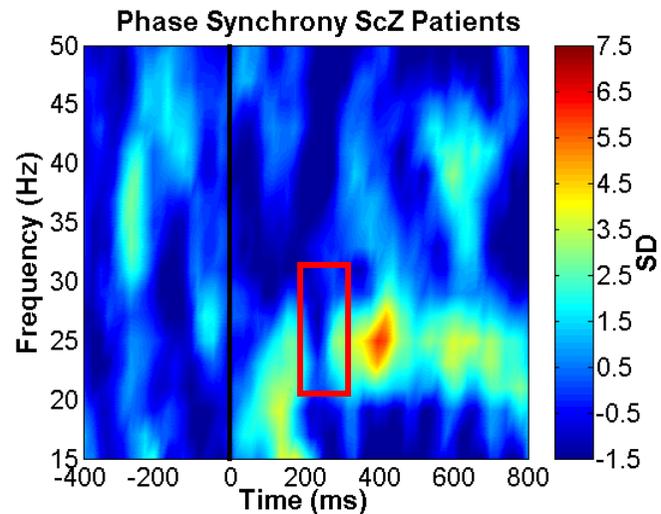
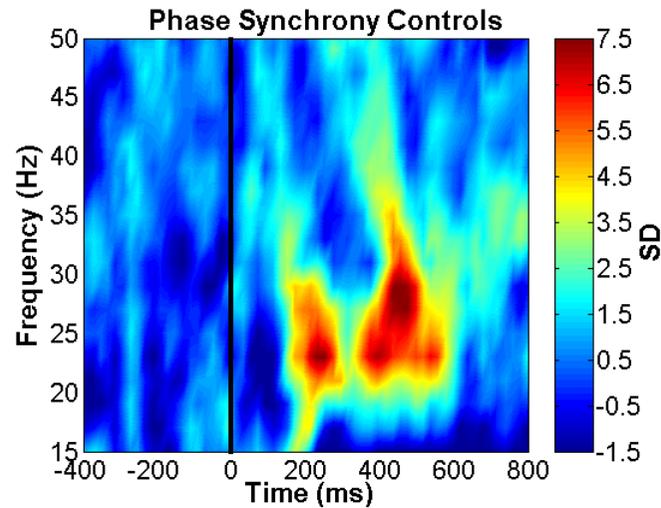
Comparison between medicated and unmedicated ScZ-Patients



Gamma Power



Reduced phase-synchrony in schizophrenia

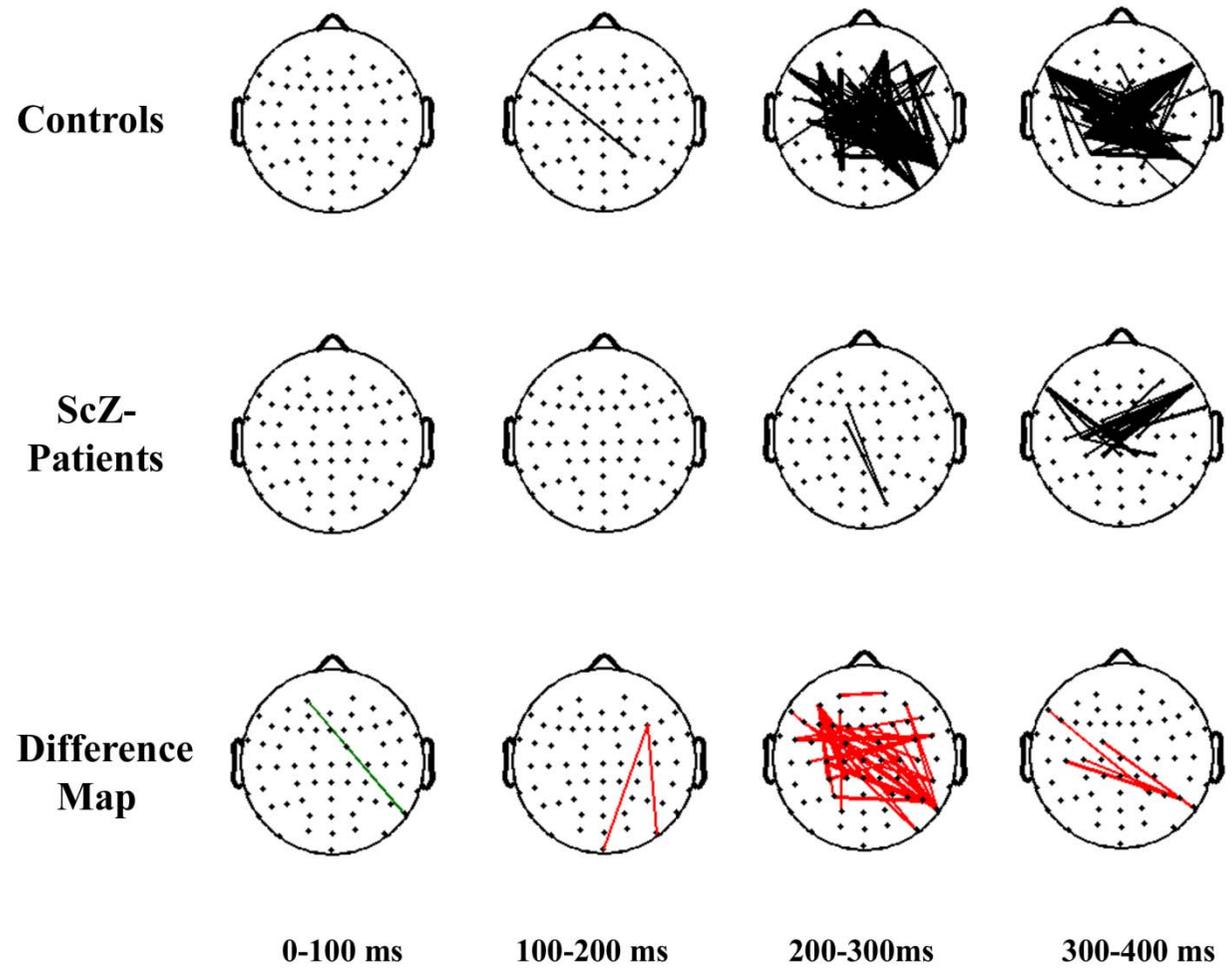


Correlation with symptoms

Positive	.48*
Delusions	.51*
Hallucinations	.55**

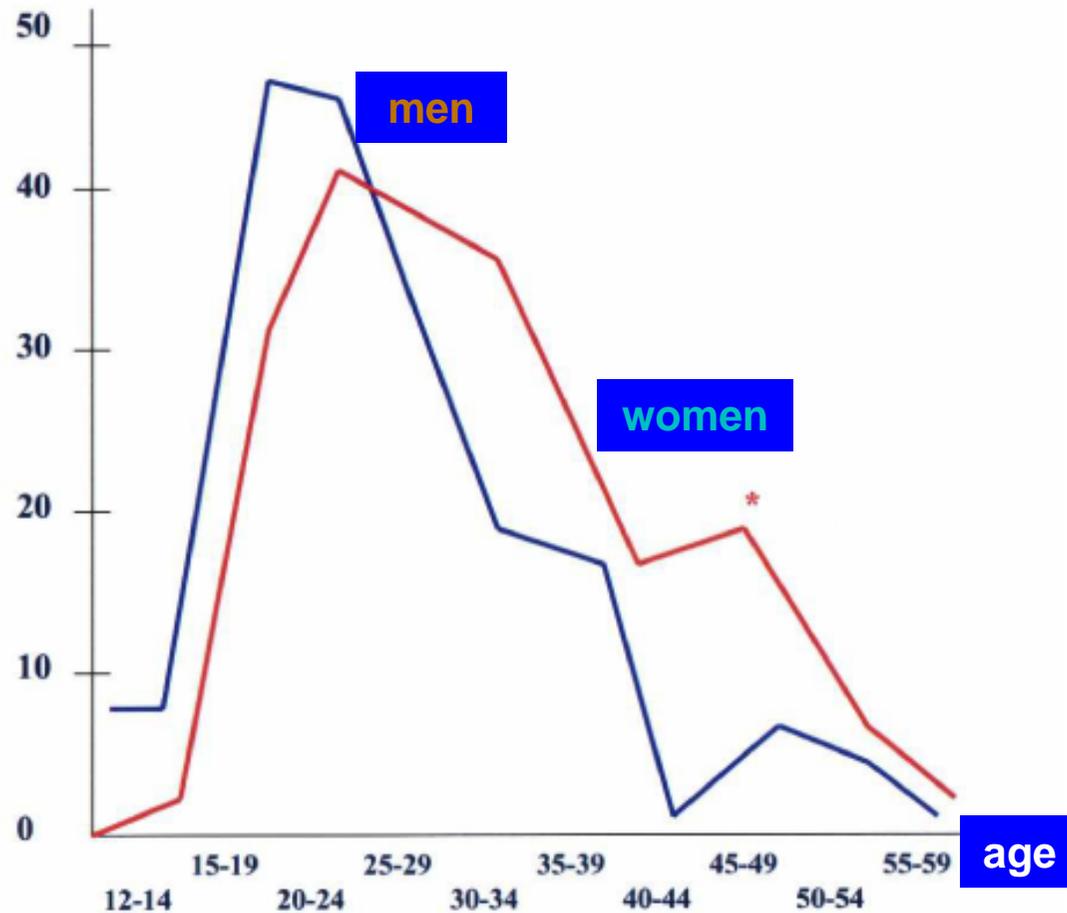
$p < .005$

Topology of disturbed phase locking in schizophrenic patients

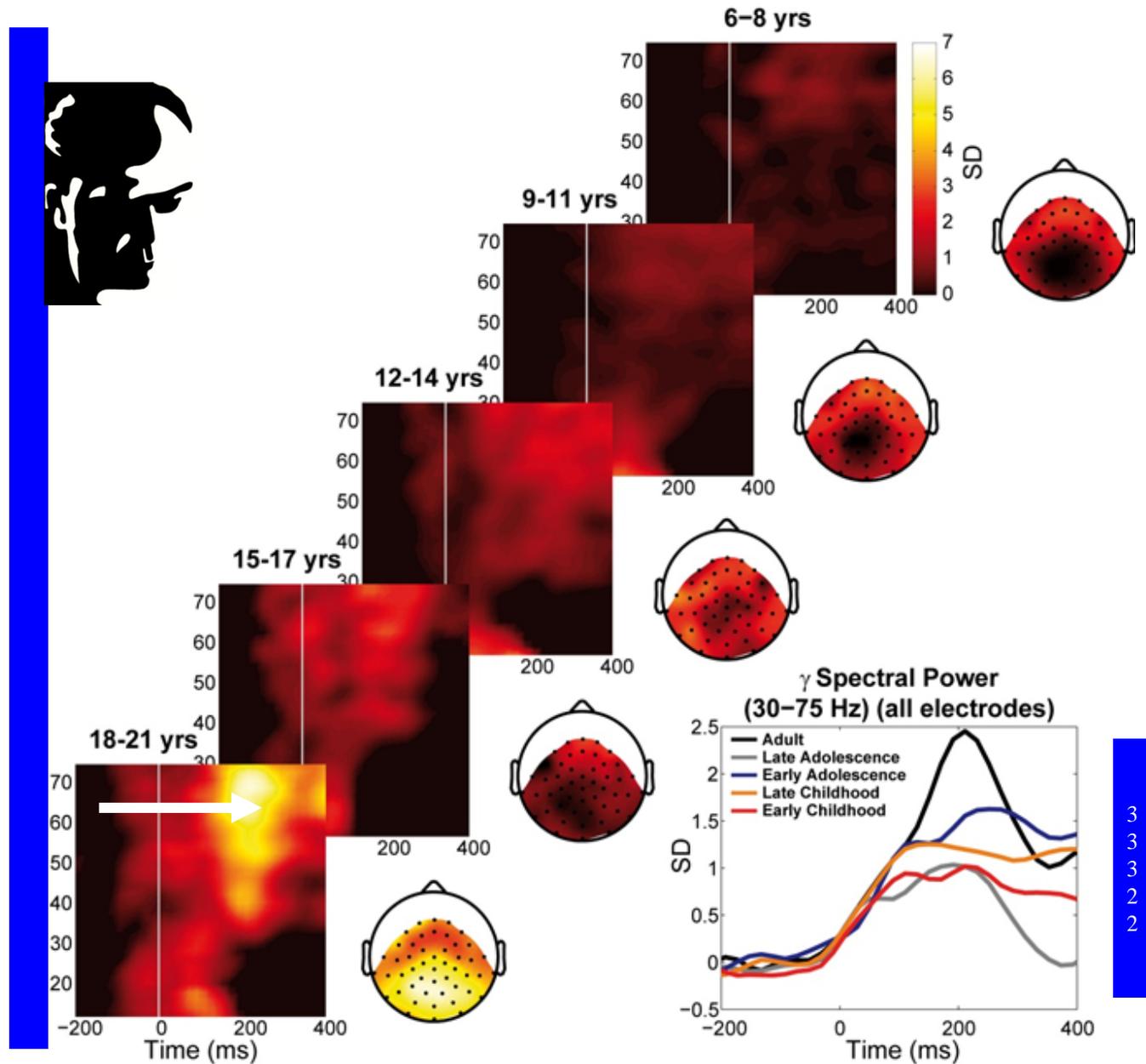


Age dependent manifestation of Schizophrenia

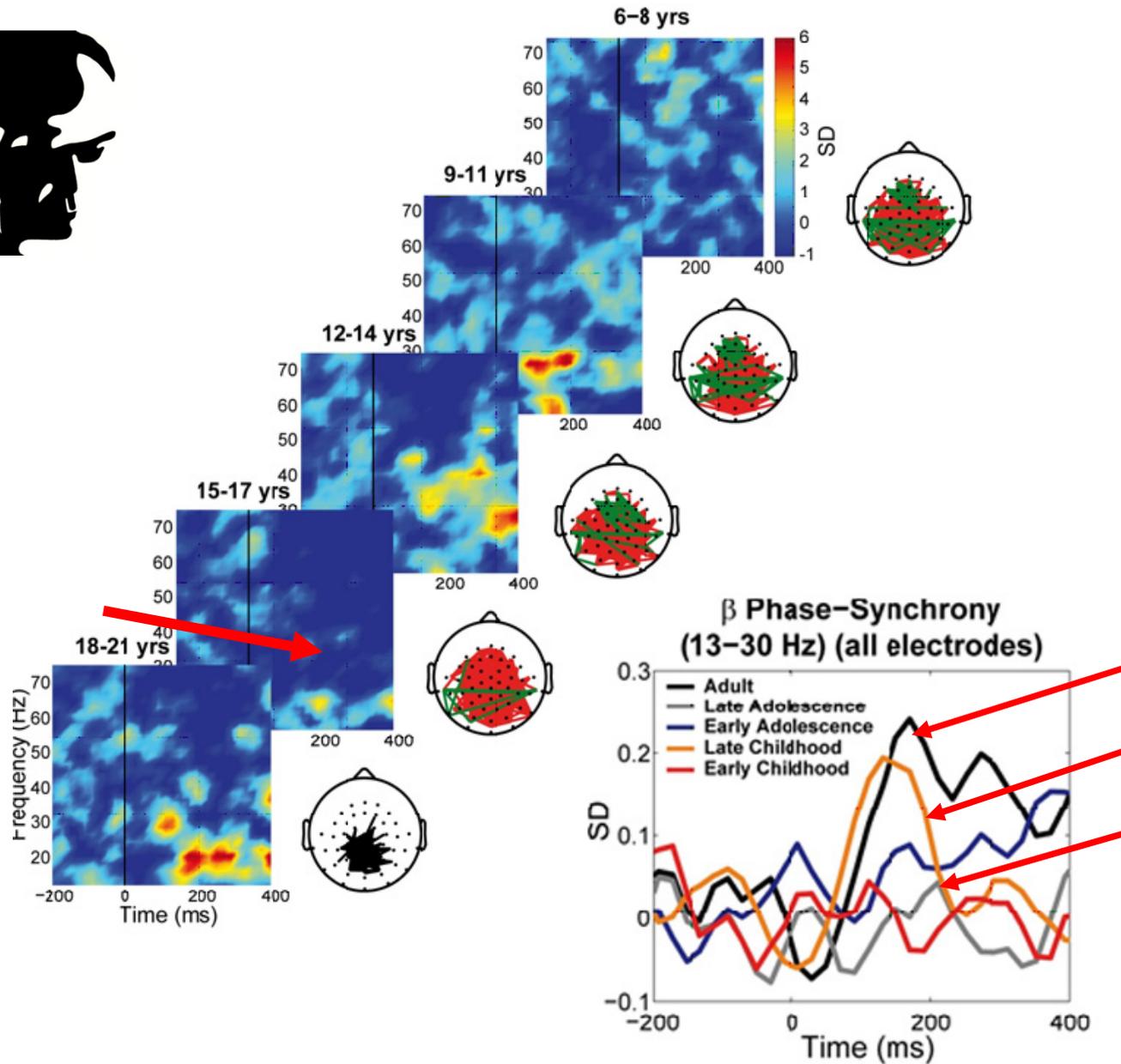
A motivation for developmental studies



Late maturation of gamma oscillations



Transient disruption of phase locking



Adoleszenz: Eine kritische Entwicklungsphase

Synchrone Oszillationen werden stärker und präziser

ABER

- Netzwerke destabilisieren
- Synchronisation bricht dabei vorübergehend zusammen
- Übergang von globalen zu fokalen Netzwerken

Freud's „second chance“?