Elektroenzephalografie - Frequenzanalyse und Synchronisation

Michael Thiele
Martin Heinzerling

TU Dresden, Fakultät Informatik

17. Juni 2008

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Experimente

Auswertung

Synchronisation

Appendix

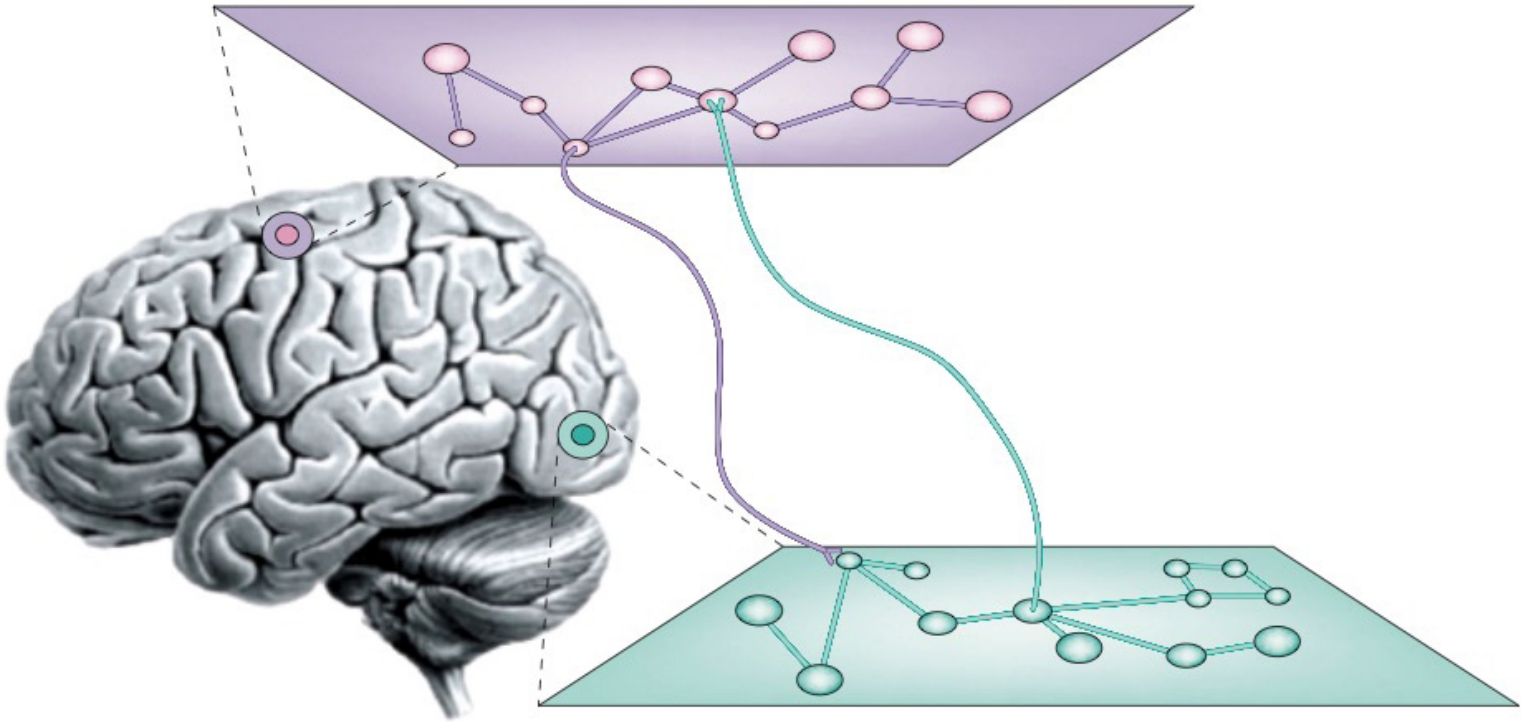
Zusammenspiel verschiedener Gehirnareale

- Wahrnehmung, Motorik, etc. als Zusammenspiel von Gehirnregionen mit spezieller Aufgabe
- Bsp. Objektwahrnehmung: Kanten, Farbe, Bewegung, Tiefe, ...

Theorien

- Mediatoren zwischen den verschiedenen Hirnregionen
- dynamische Verbindungen durch Synchronisation der feuernden Neuronen

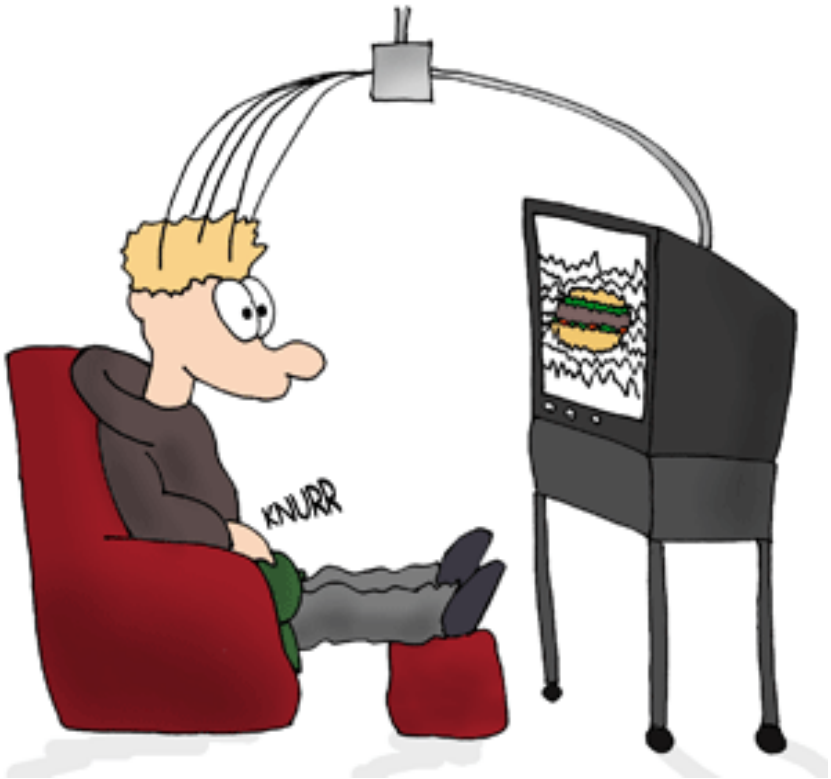
Architektur



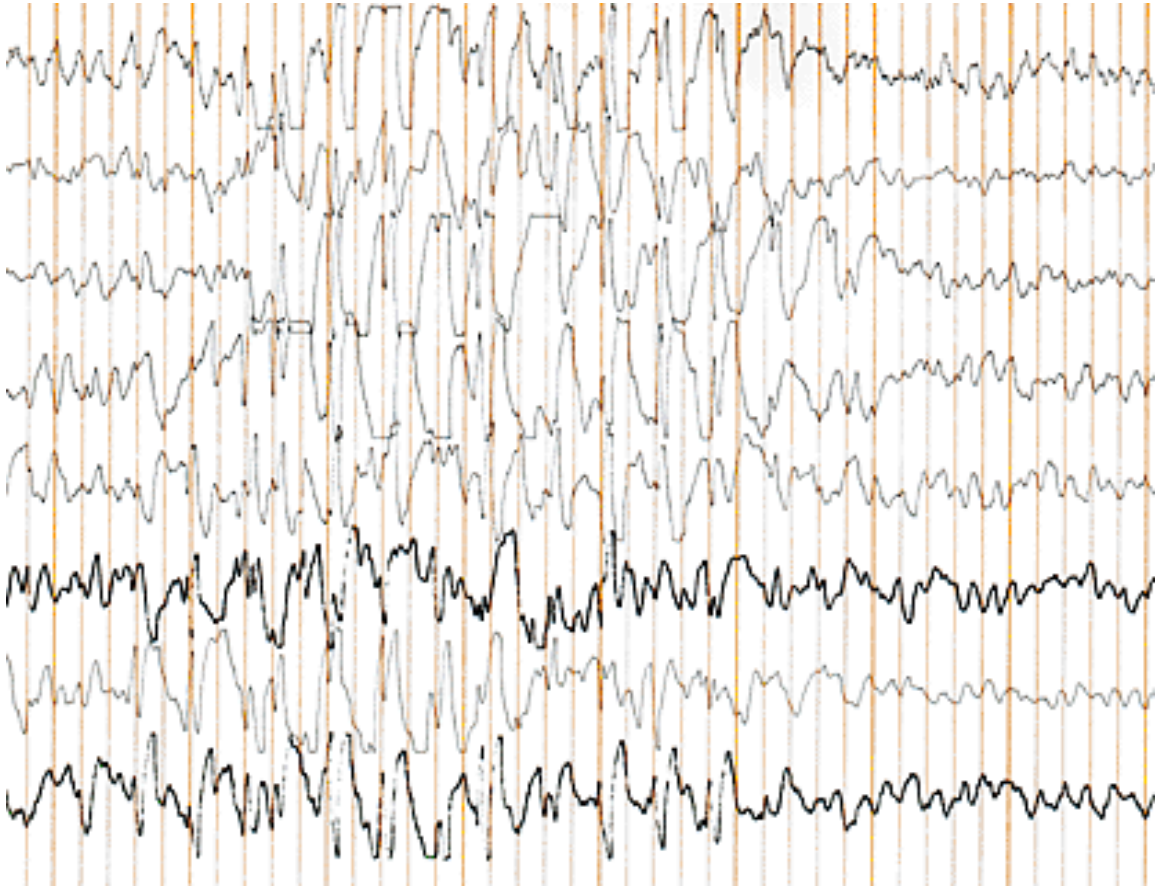
Aufgabe der Synchronisation

- Aktivierung eines Neurons nur bei genügend Input $\Rightarrow$ gleichzeitiges Feuern
- Objektwahrnehmung: Kodierung eines Features über Phase

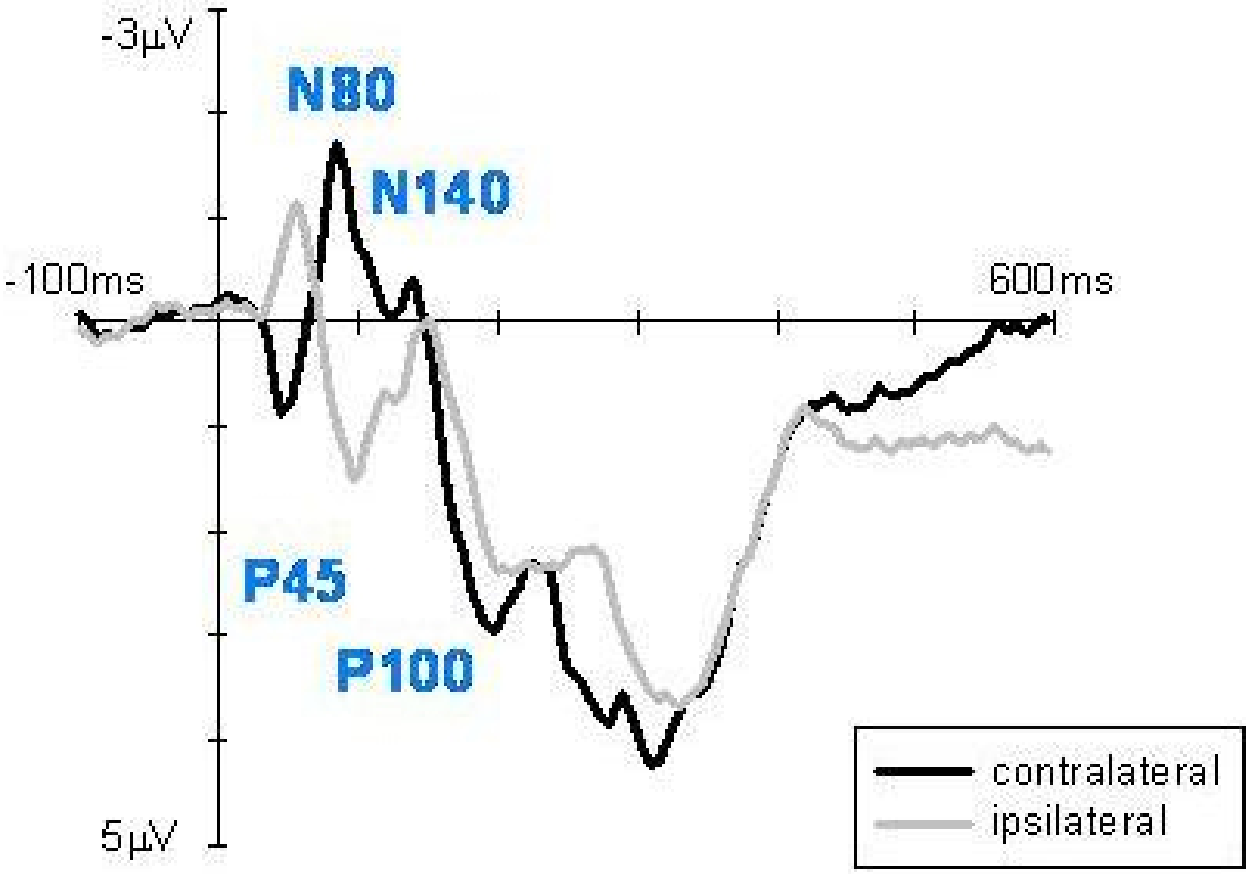
Anknüpfung zur letzten Woche



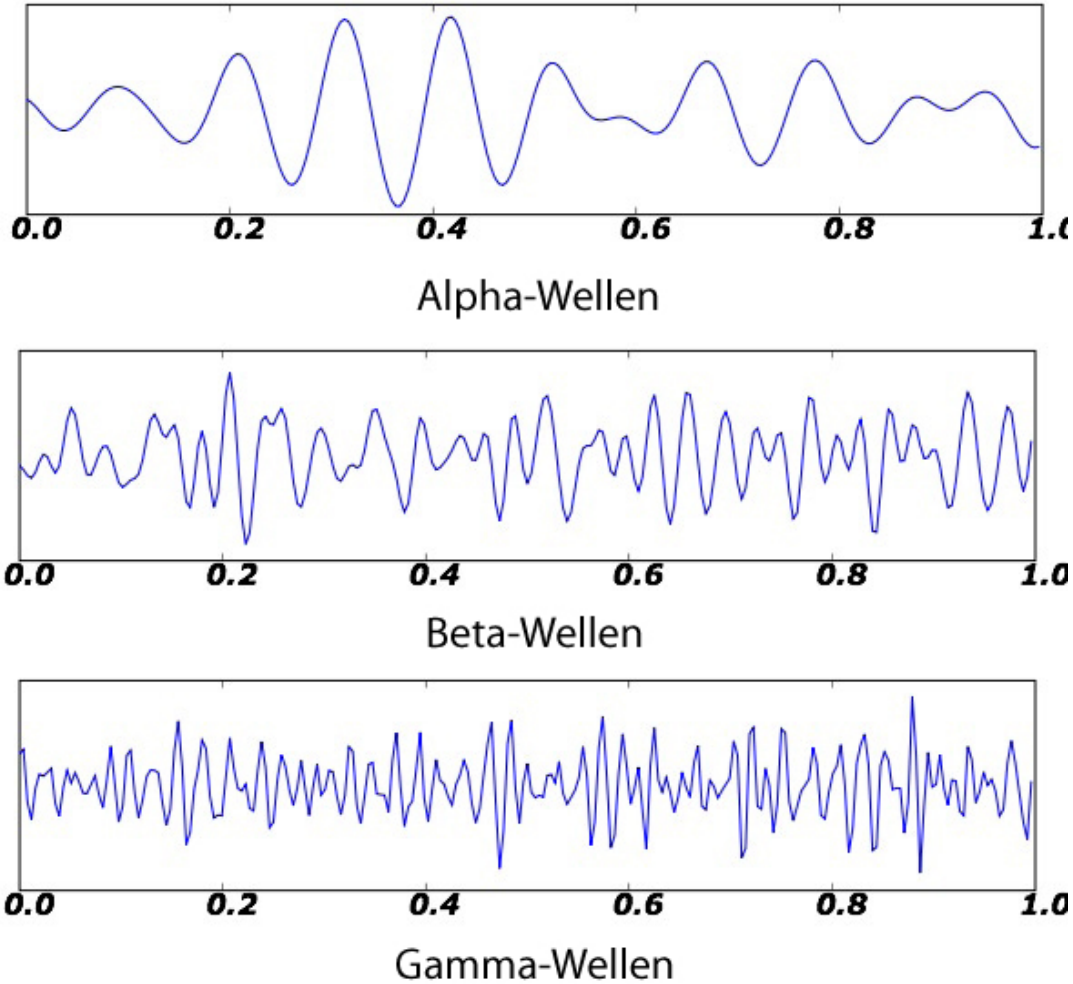
Anknüpfung zur letzten Woche



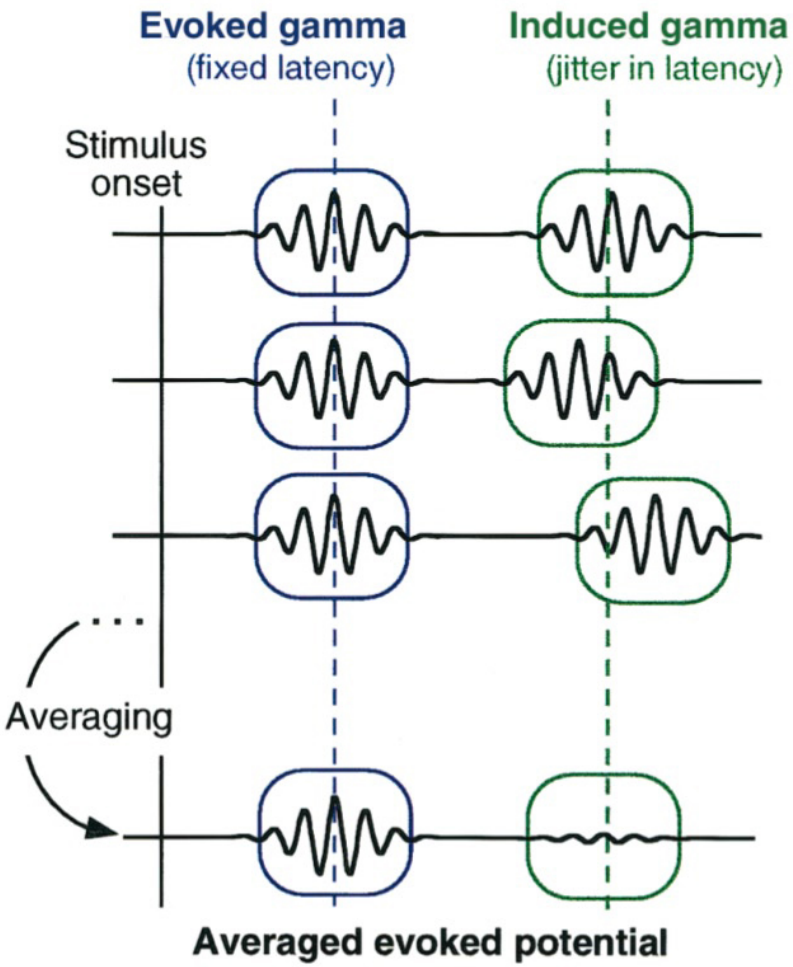
Anknüpfung zur letzten Woche



Anknüpfung zur letzten Woche



Anknüpfung zur letzten Woche

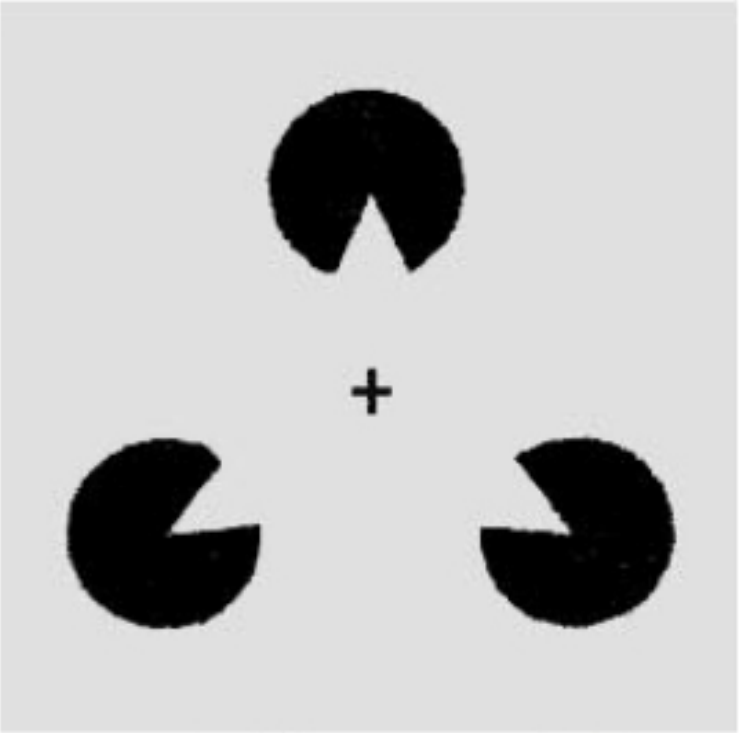


Ziele

- Zusammenhang zwischen Gamma-Aktivität und Orchestrierung im Gehirn
- Binding-Hypothese
  - bottom-up
  - top-down

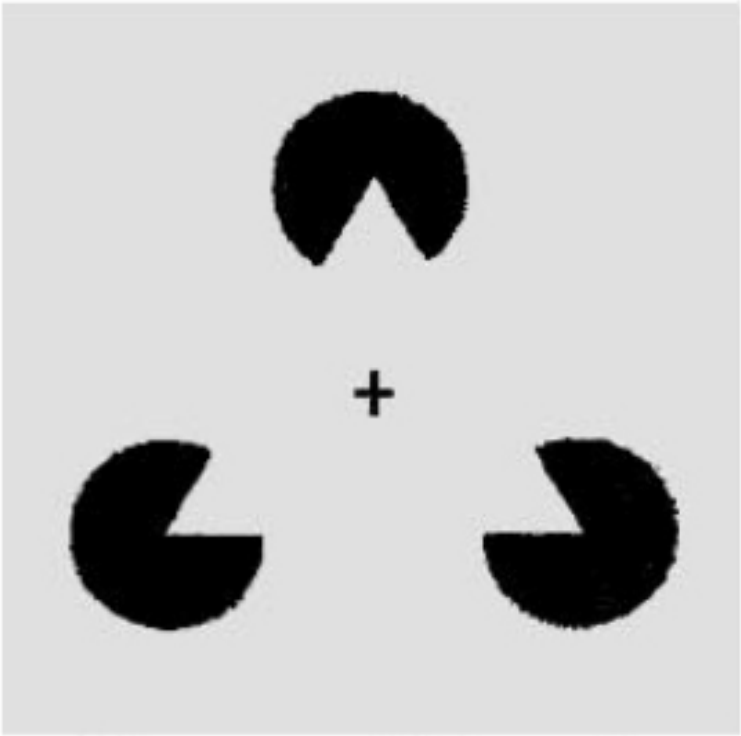
Dreiecks-Experiment

Dreiecks-Experiment



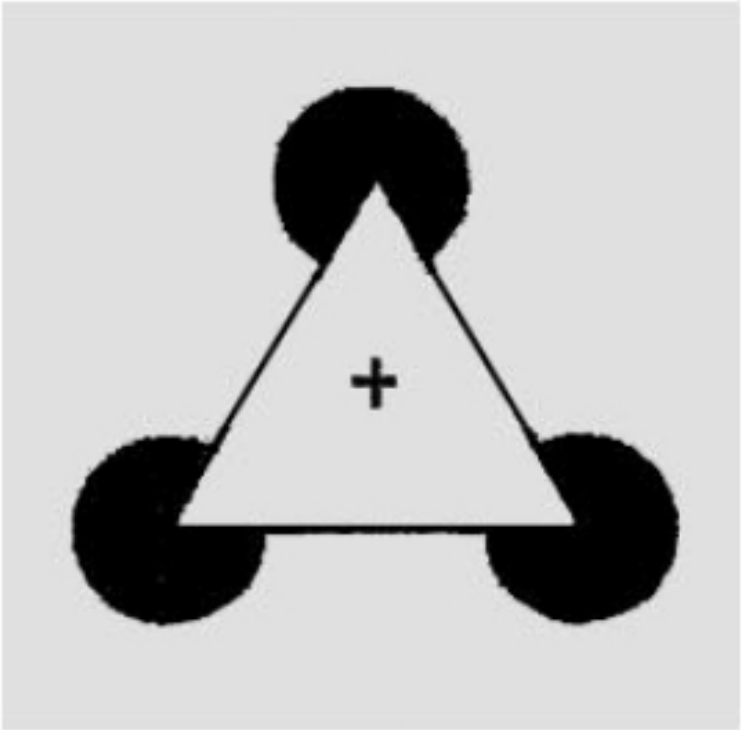
curved illusory triangle
(target)

Dreiecks-Experiment



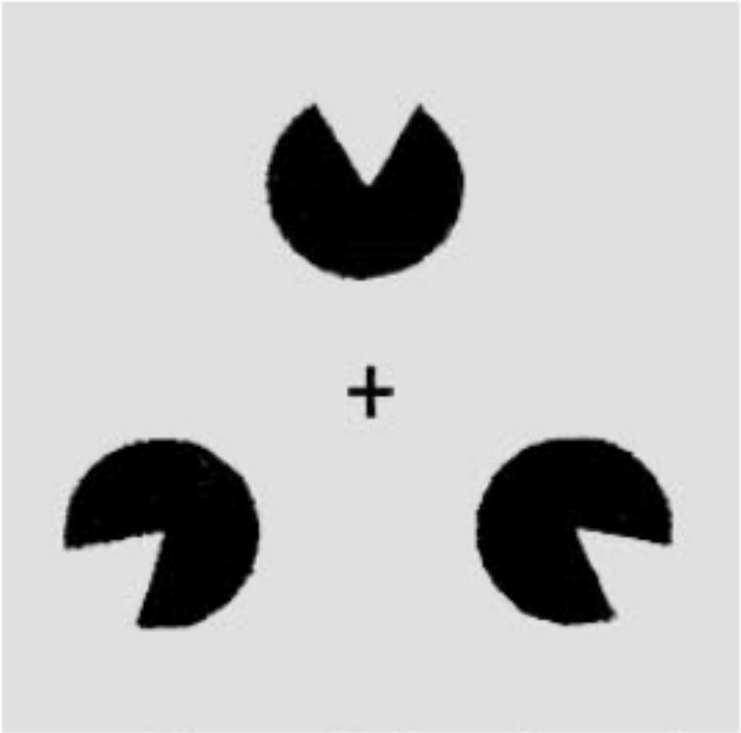
illusory triangle

Dreiecks-Experiment



real triangle

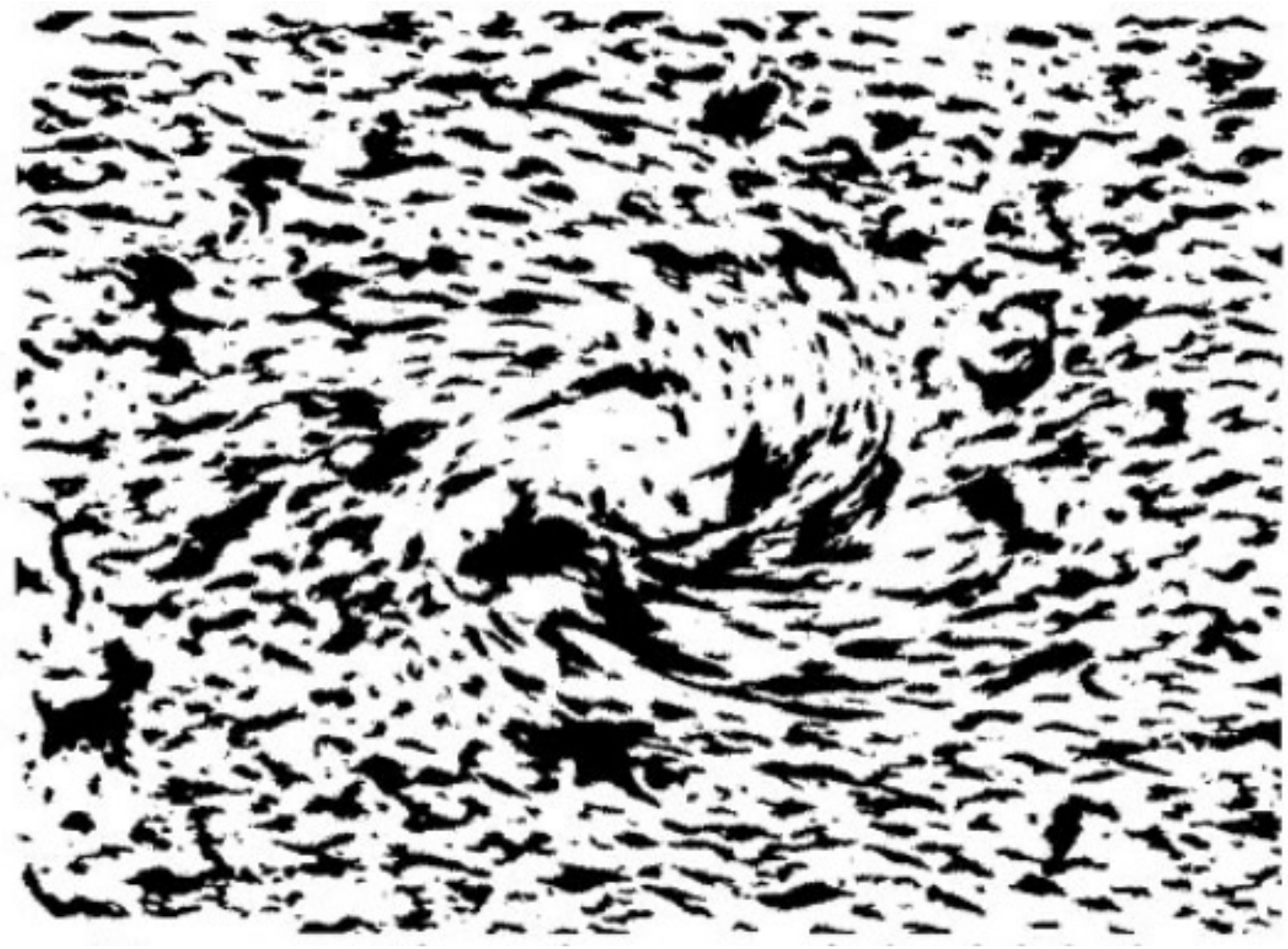
Dreiecks-Experiment



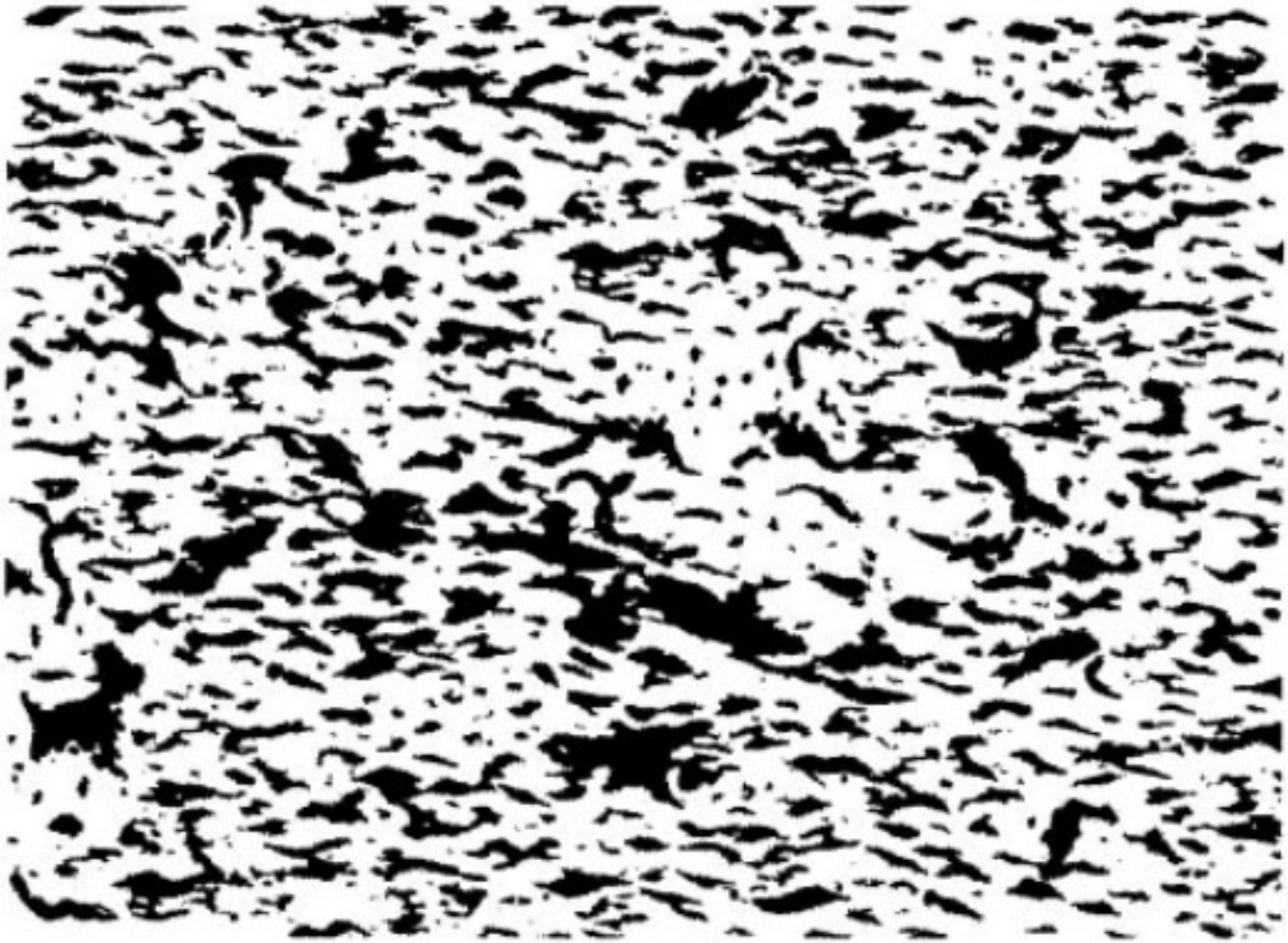
'no-triangle' stimulus

Dalmatiner-Experiment

Dalmatiner-Experiment

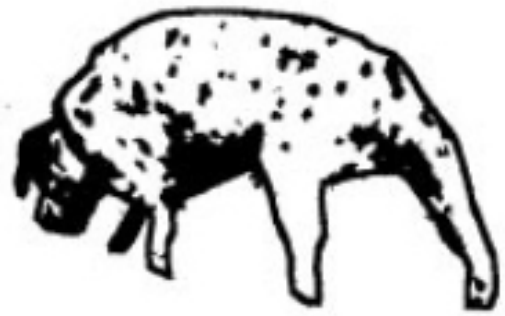


Dalmatiner-Experiment

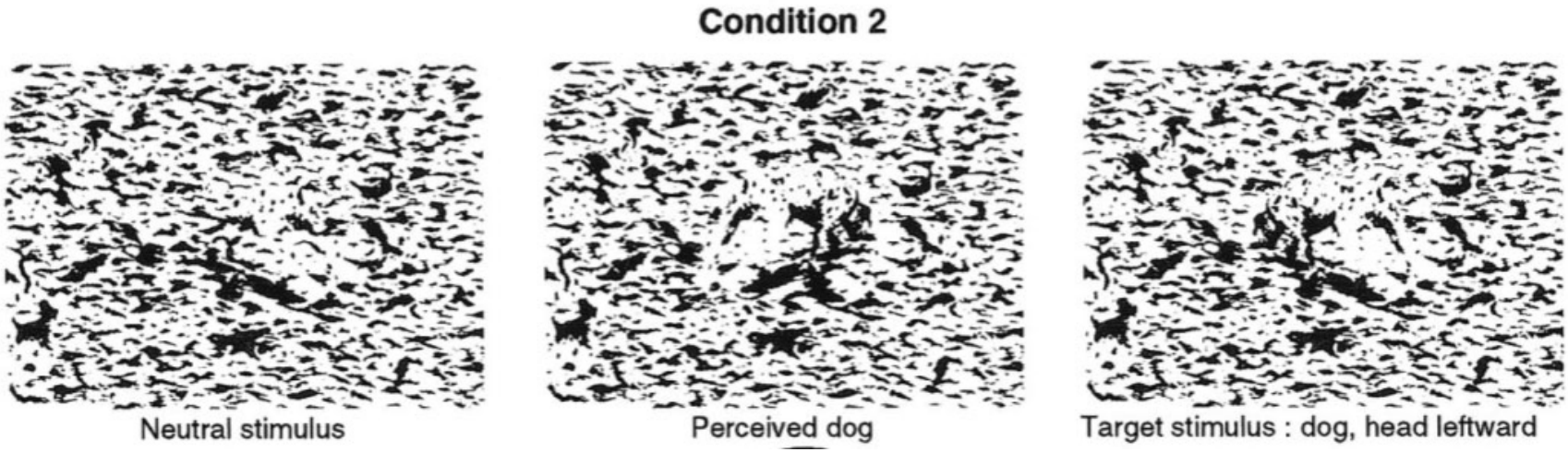


Dalmatiner-Experiment

Dalmatiner-Experiment



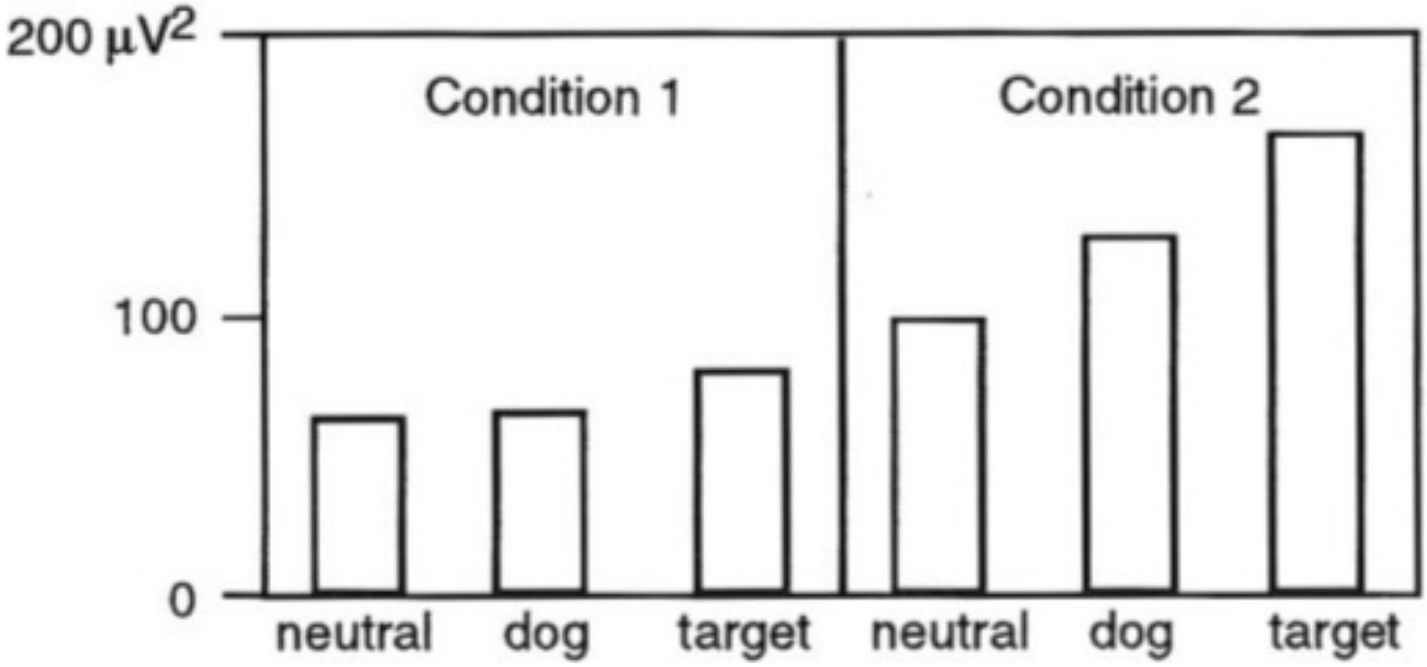
Dalmatiner-Experiment



Ergebnisse

- wenige Fehler (3,5% falsch)
- 1. Aufgabe angeblich leichter, aber selbe Fehlerrate
- keine Versuchsperson entdeckte den Dalmatiner in der 1. Bedingung

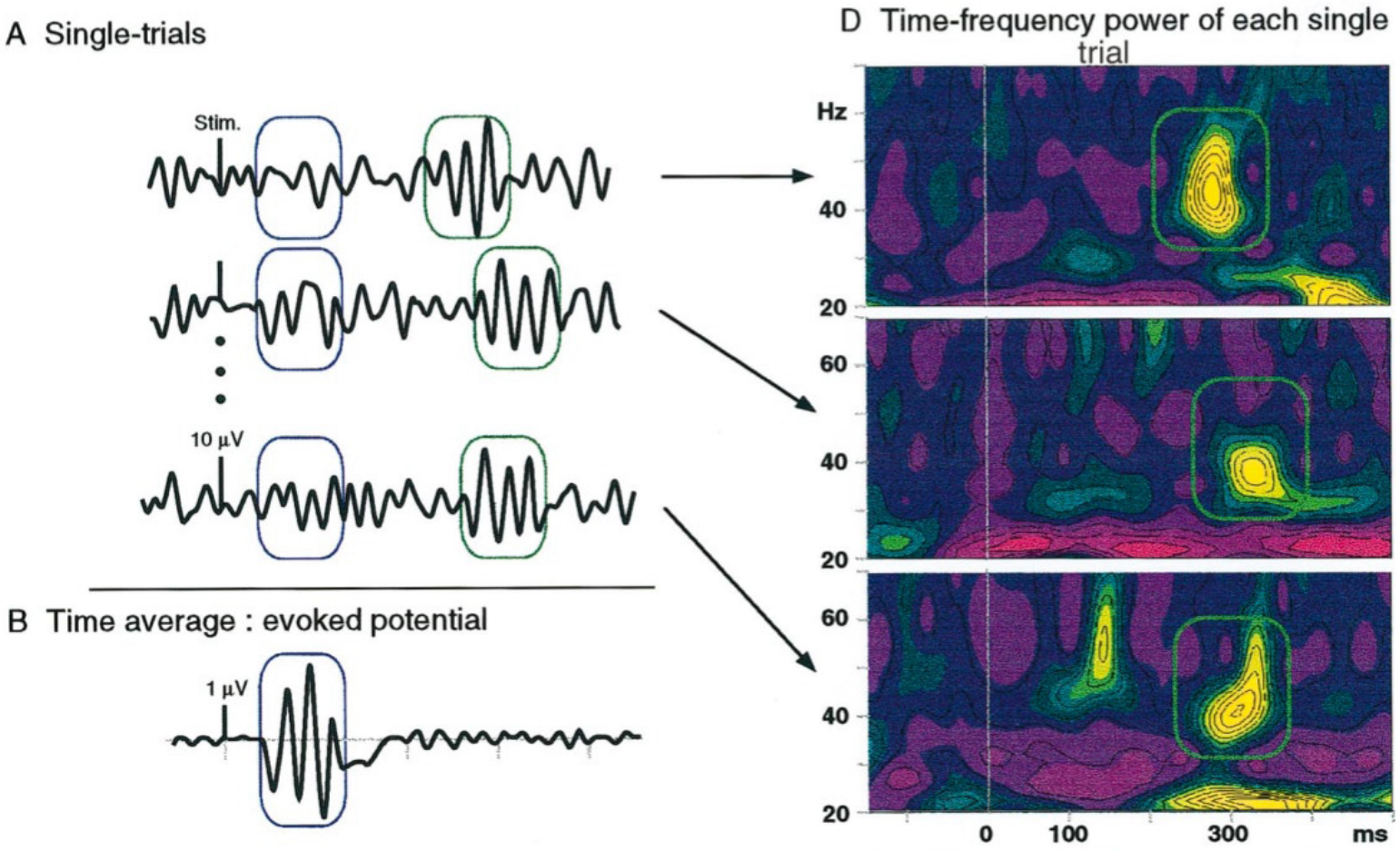
Gamma-Aktivität



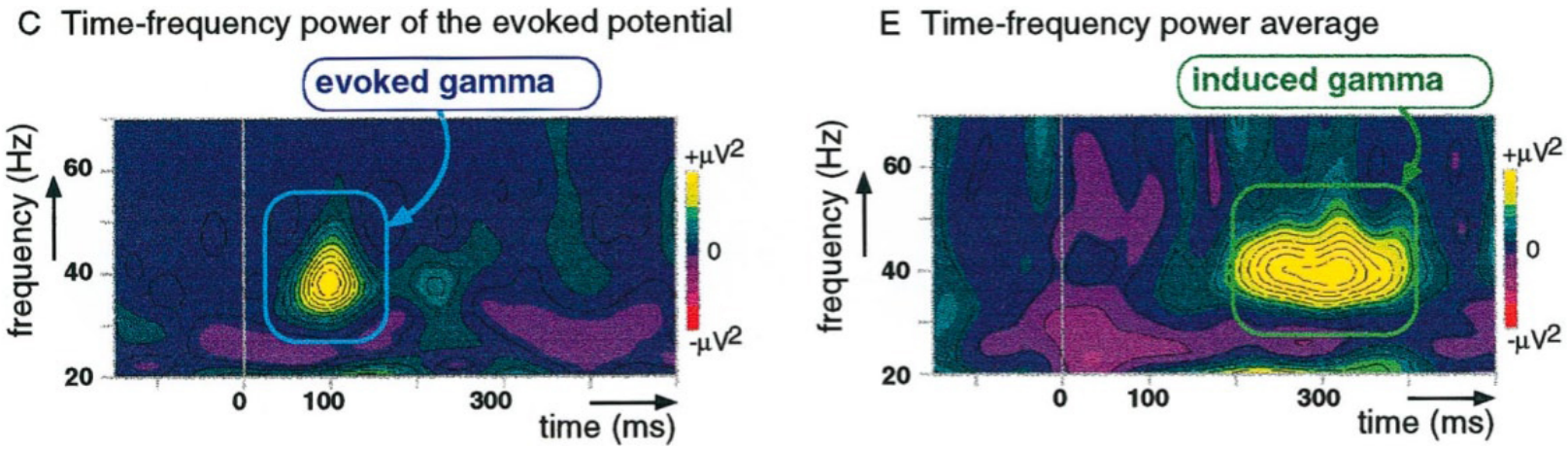
andere Experimente

- motorische Aufgaben
- Aufmerksamkeit
- komplexe Aufgaben
- Gemeinsamkeit: Gamma-Aktivität bei 200-400ms nach sensorischem Stimulus $\Rightarrow$ "kognitiver Prozess"

induzierte Gamma-Aktivität



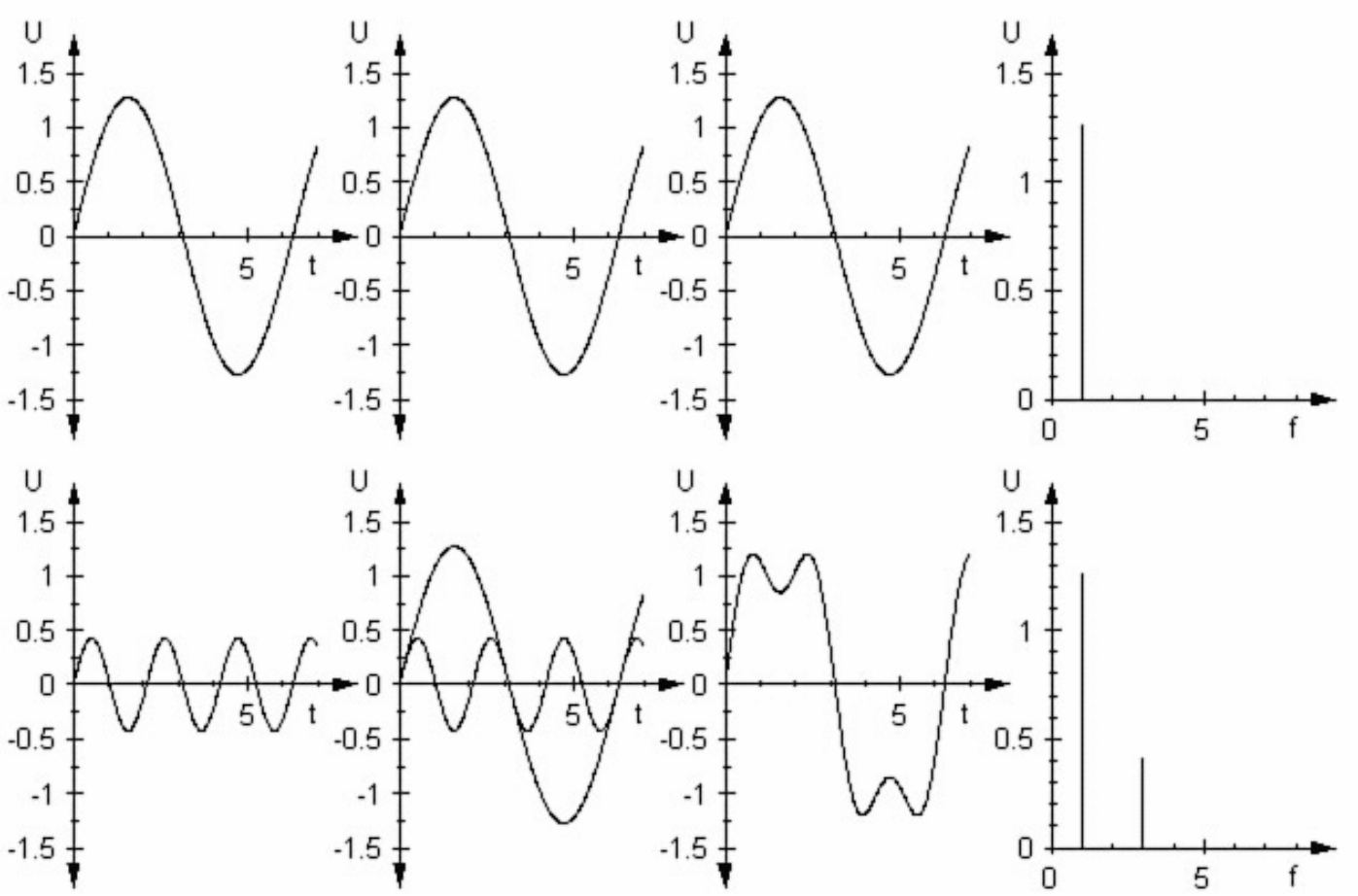
Mittlung


C Time-frequency power of the evoked potential
evoked gamma
frequency (Hz)
60
40
20
0
100
300
time (ms)
+µV2
0
-µV2
E Time-frequency power average
induced gamma
frequency (Hz)
60
40
20
0
100
300
time (ms)
+µV2
0
-µV2

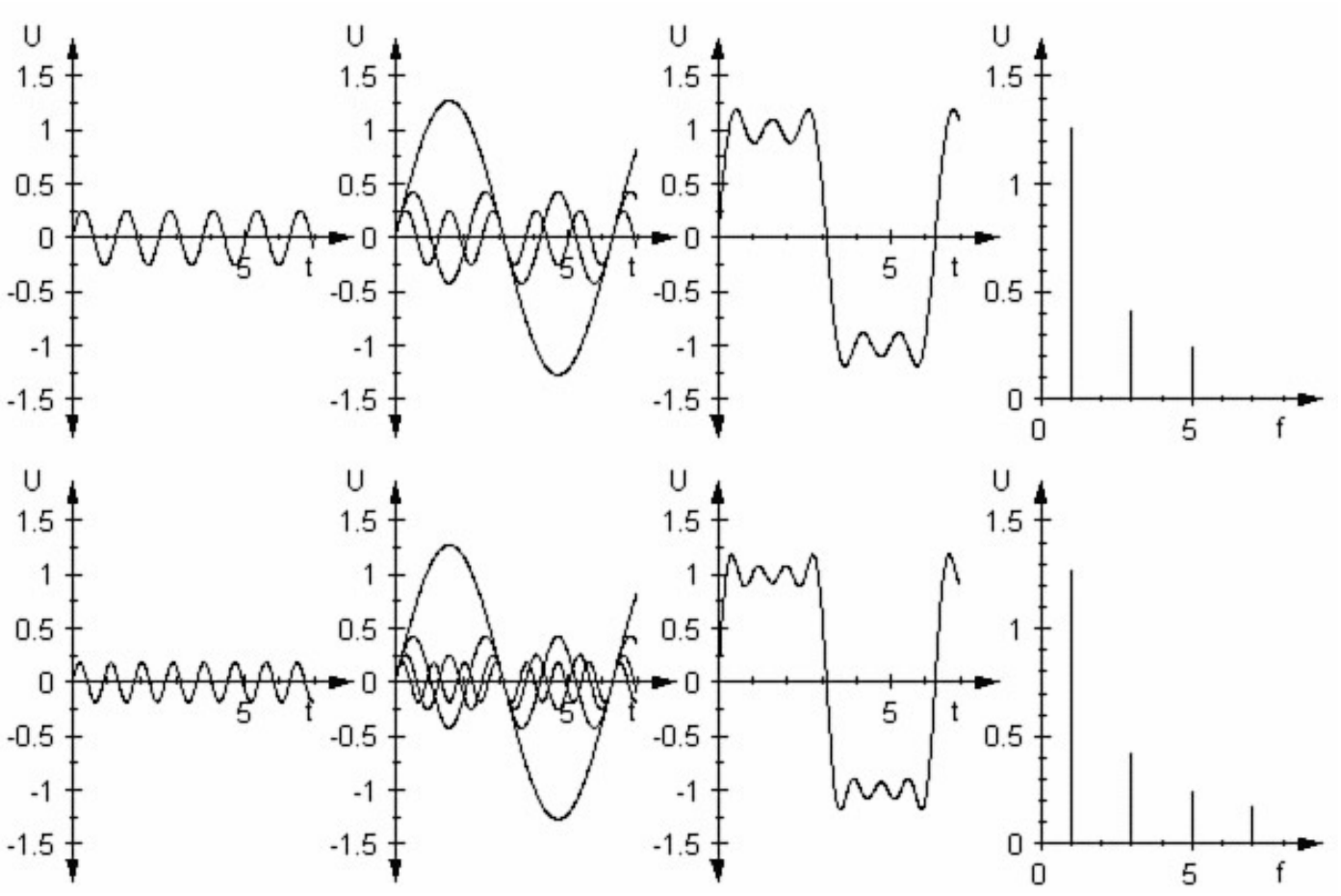
Fourier-Transformation

- Ziel: Anteile von Frequenzen in einem Signal bestimmen (Frequenzspektrum)
- Idee: jedes periodische Signal lässt sich in überlagerte Sinus- und Kosinusschwingungen zerlegen
- Koeffizienten für Frequenzen als neue Funktion

Rechtecks-Signal



Rechtecks-Signal



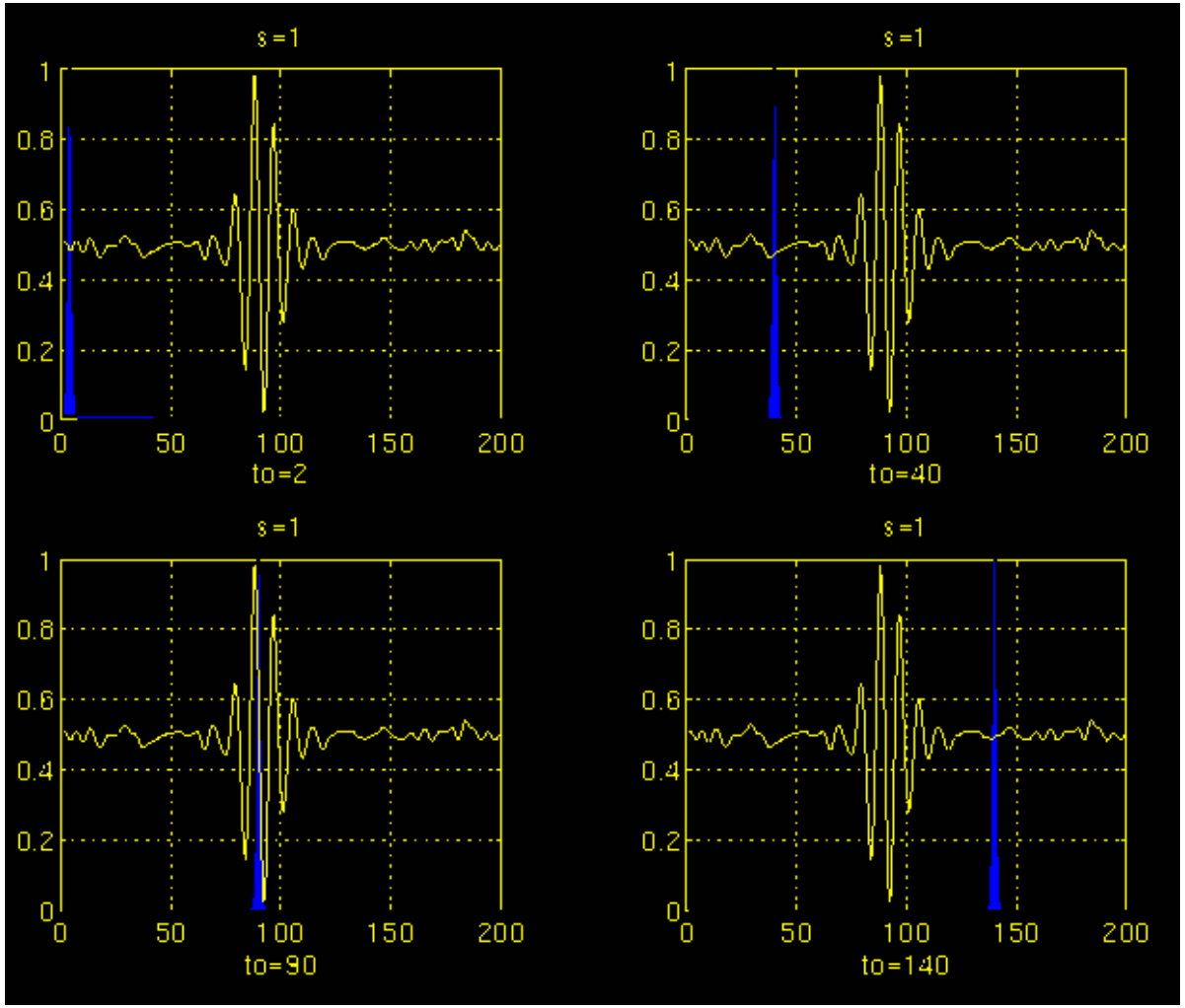
Eigenschaften der FT

- nur für periodische Funktionen
- Frequenzanteile nur über gesamten Zeitraum; nicht *wann* diese auftreten
- Lösung: Short-Time-Fourier-Transformation
  - nur Fenster mit statischer Größe betrachten
  - gewünscht: Signal mit niedrigen Frequenzanteilen $\Rightarrow$ gute Frequenzauflösung; hohe Frequenzanteile $\Rightarrow$ gute Zeitauflösung

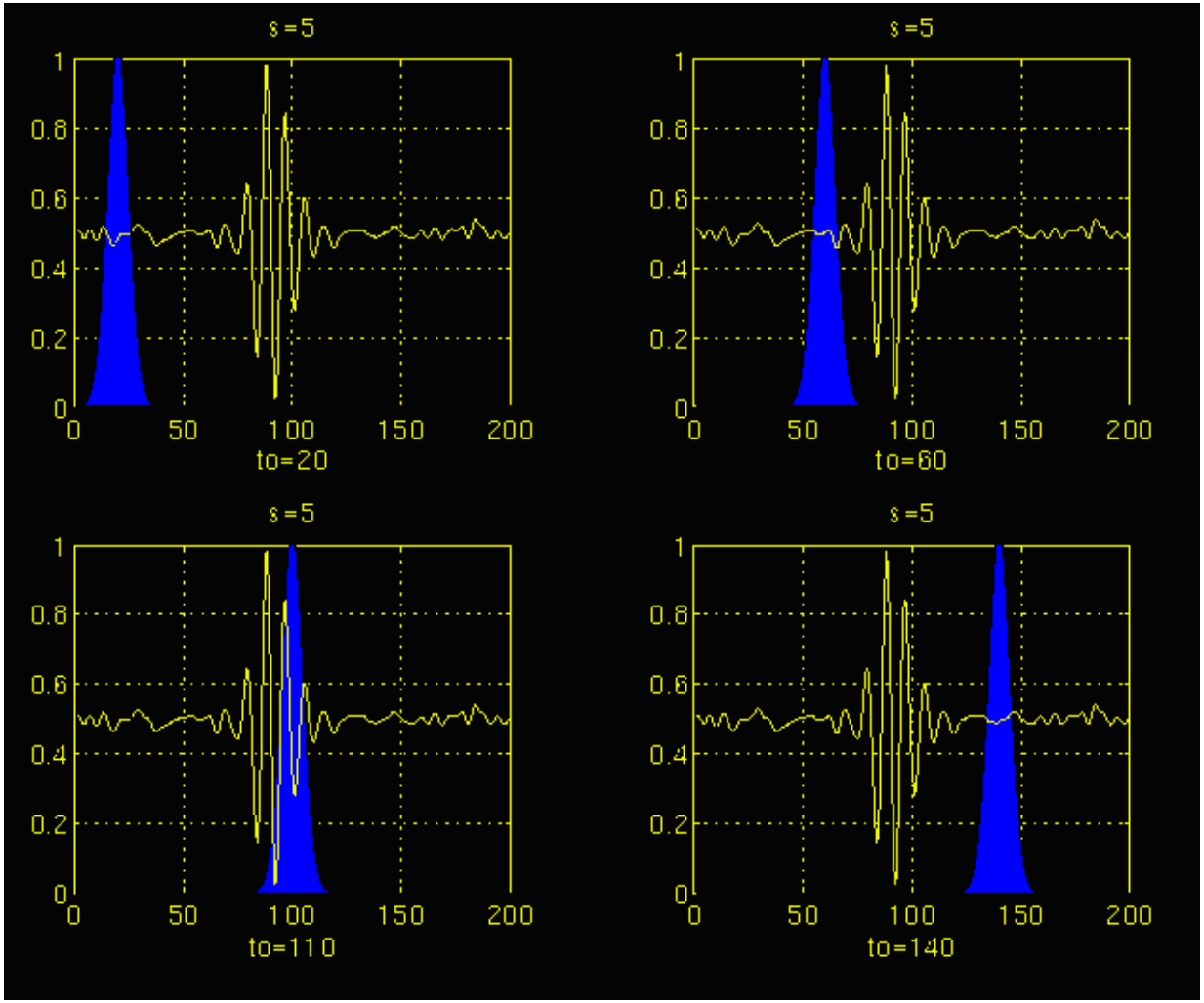
Wavelets

- sich ändernde Fenstergröße
- $\frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \cdot \psi(\frac{t-\tau}{s}) dt$
  - $\psi(x)$ ... "Mother-Wavelet"
  - τ ... Verschiebung in der Zeit
  - s ... Skalierung: $s > 1$ streckt Signal $\Rightarrow$ Erkennen von tieferen Frequenzen, aber ungenauere Zeitangabe

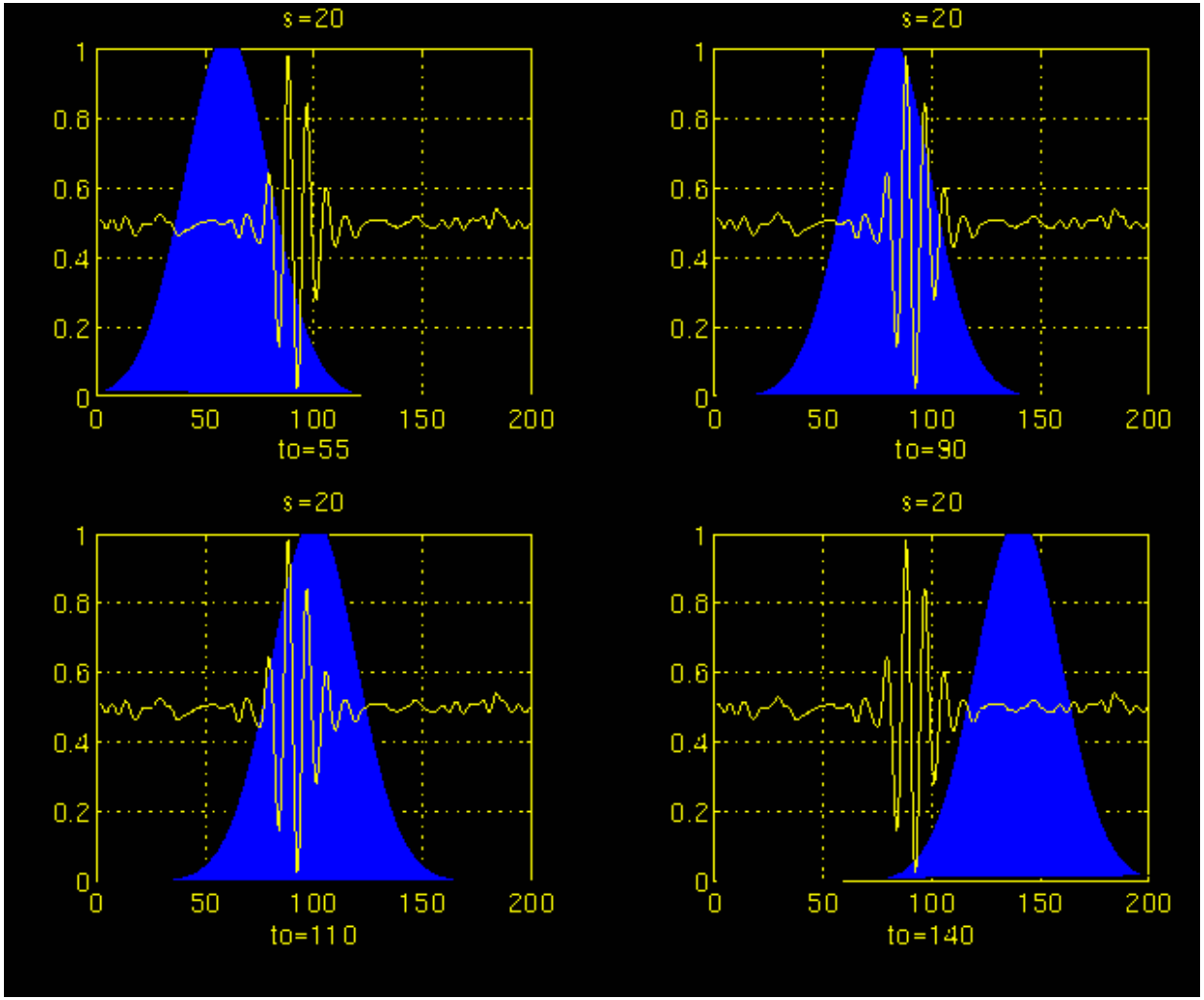
Signalverarbeitung



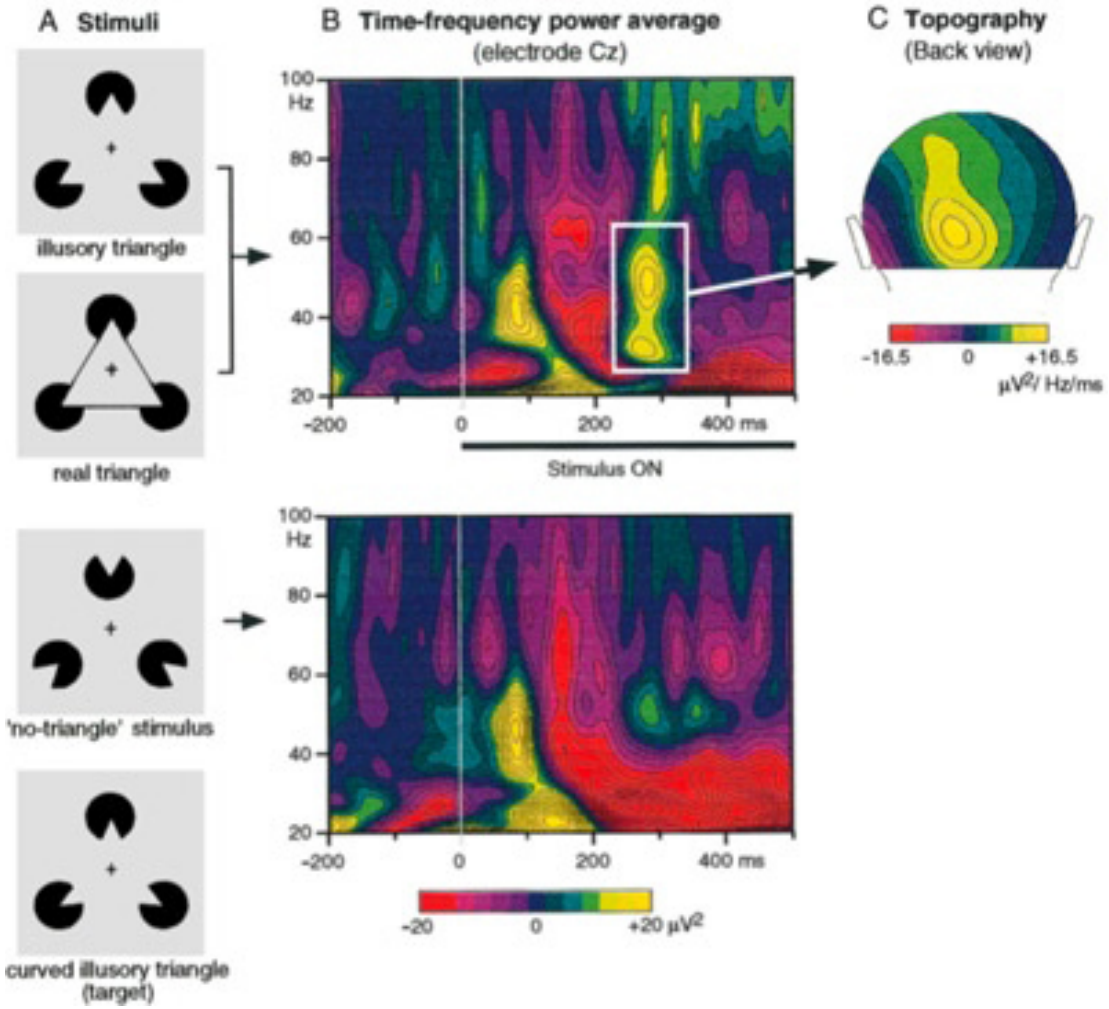
Signalverarbeitung



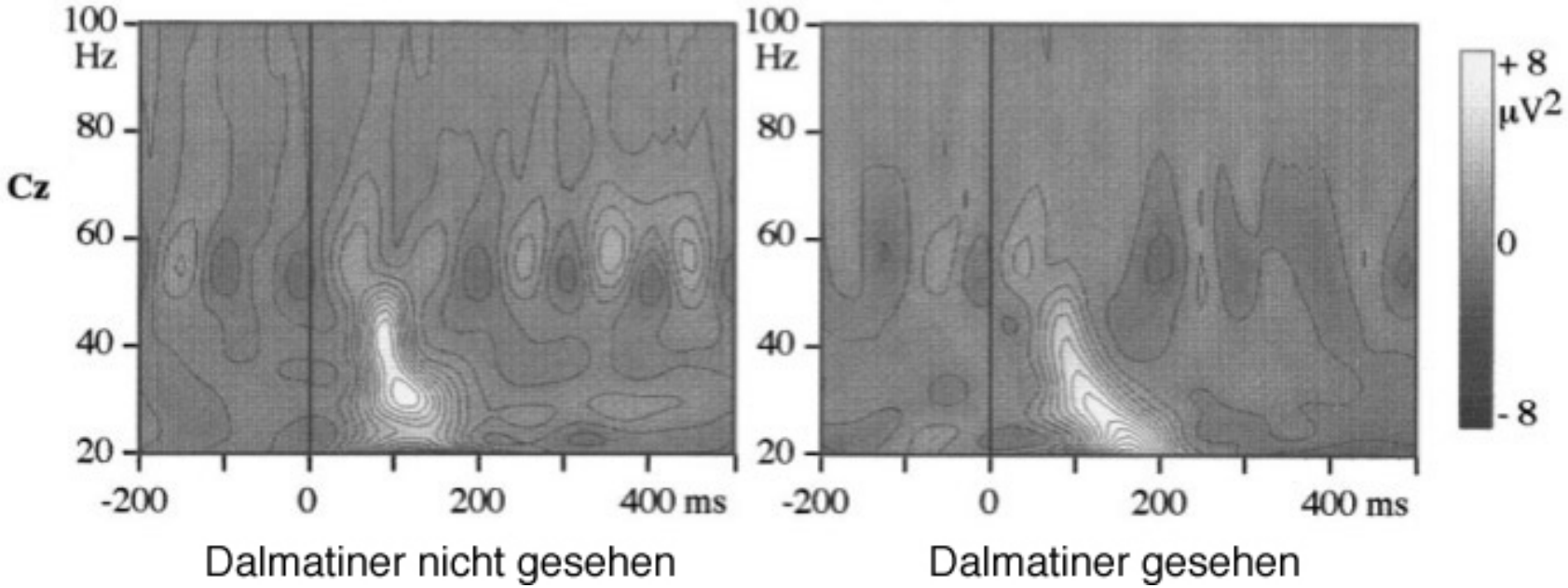
Signalverarbeitung



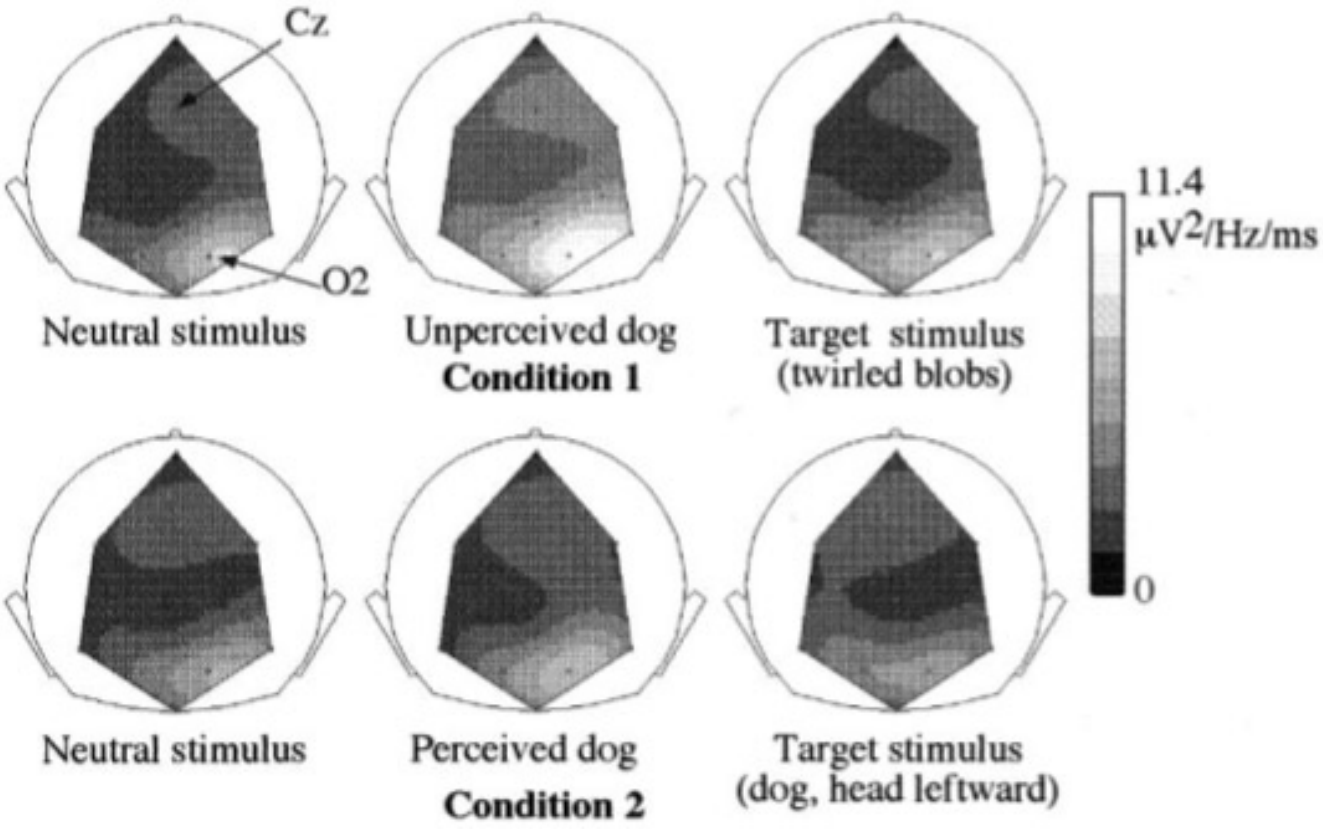
Dreiecke - Evoked und Induced Potential



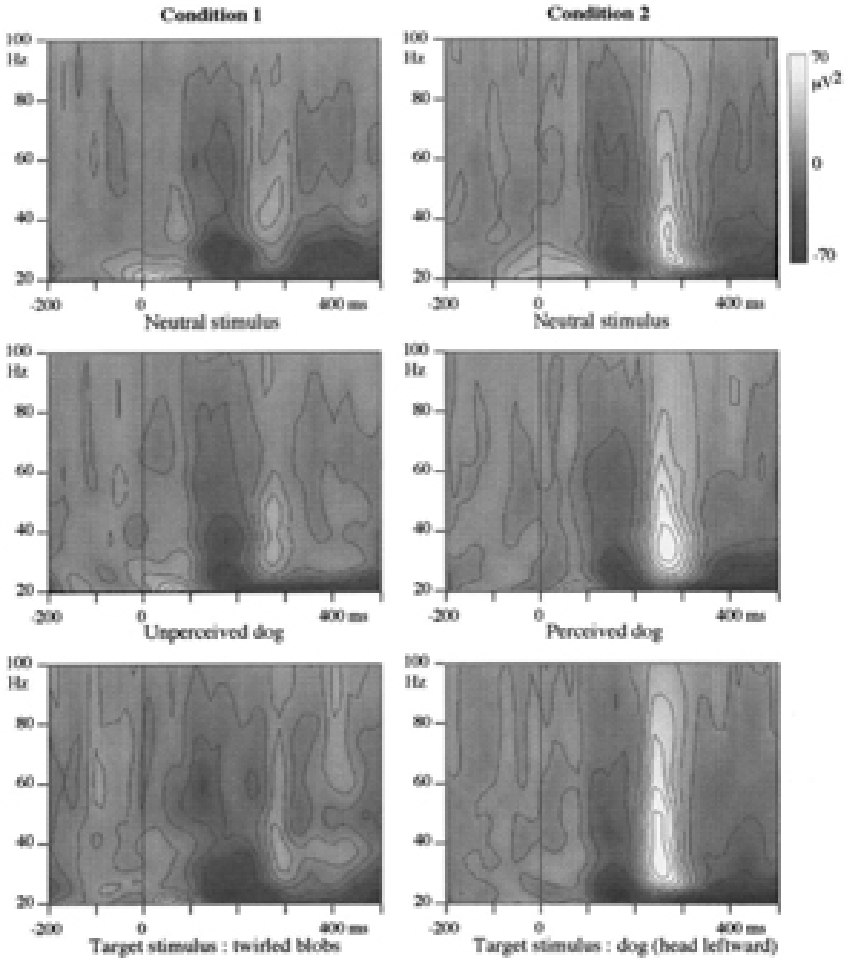
Dalmatiner - Evoked Potential



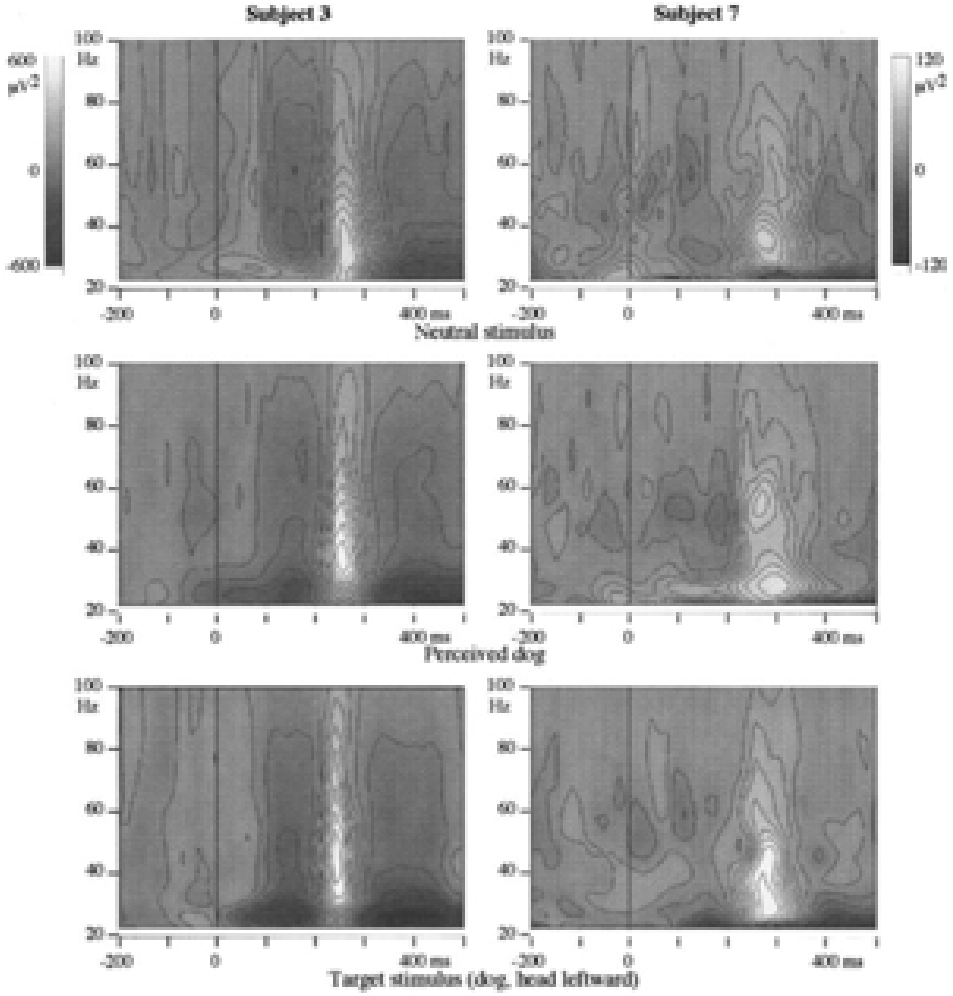
Dalmatiner - Evoked Potential



Dalmatiner - Induced Potential



Dalmatiner - Induced Potential



Grundlage

- Autoren: Jean-Philippe Lachaux, Eugenio Rodriguez
- Paper:
  - Measuring Phase Synchrony in Brain Signals
  - Studying single-trials of phase synchronous activity in the brain
  - Perception's shadow: longdistance synchronization of human brain activity

Hintergrund

- weit verzweigte Interaktion der einzelnen Gehirnareale
- These: Langstreckenintegration durch zeitbegrenzte, Phasen-synchrone Oszillation im Gammabereich(30-80Hz)
- Problem: keine Spikes am Menschen messbar $\rightarrow$ nur lokale Feldpotentiale (LFP) des EEG/MEG

$\Rightarrow$ Methode zur Beschreibung der Phasenrelation zw. zwei neuroelektrischen/biomagnetischen Signalen

- statische Analyse um Hintergrundrauschen zu filtern
- Phase und Amplitude getrennt pro Frequenz $\Longleftrightarrow$ klassische Kohärenz nur ein Wert

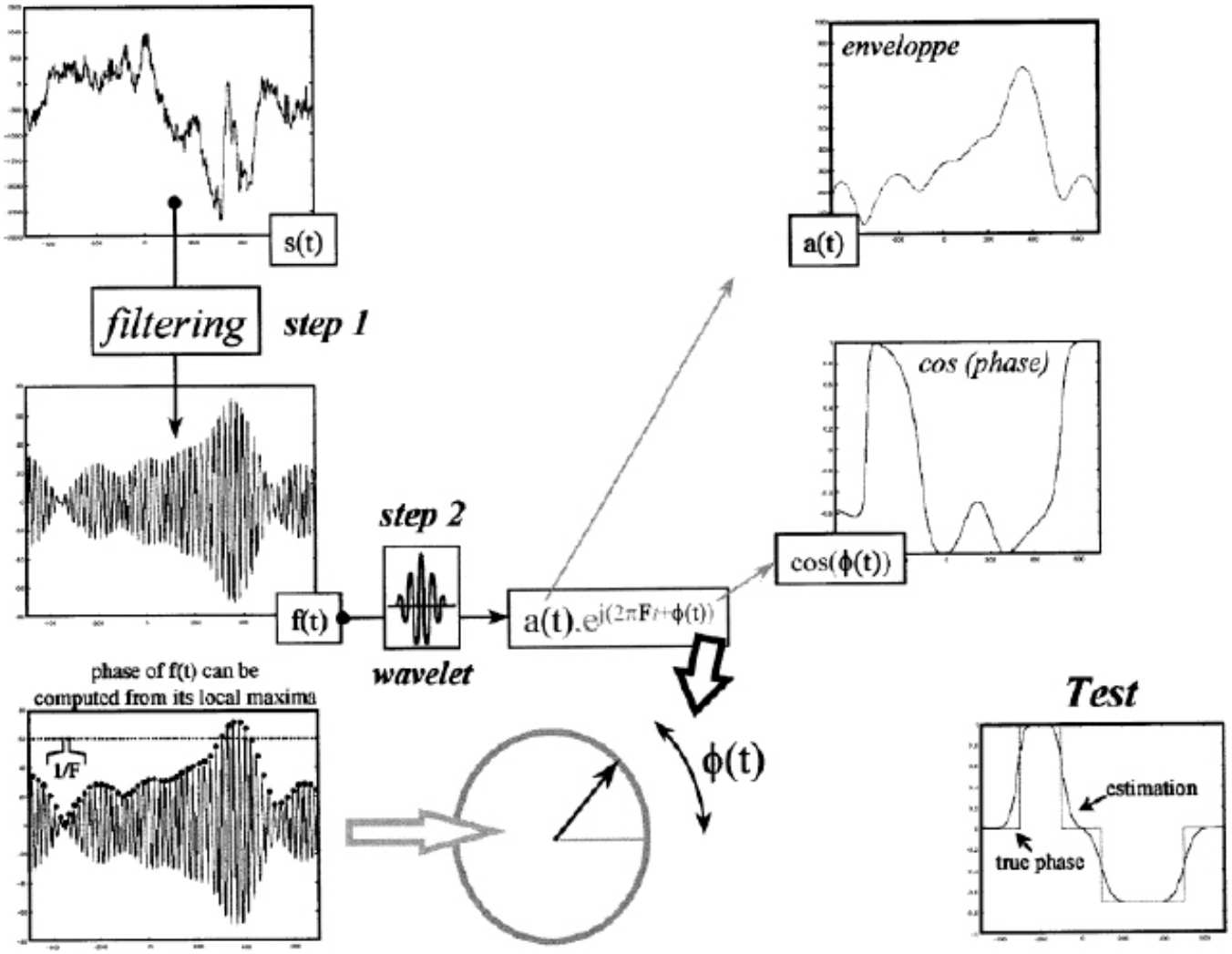
Phase-locking statistics(PLS)

- Methode zur Quantifizierung der Phasen-Synchronität einer bestimmten Frequenz f
- Eingabe: $s(t)$ Reaktionen auf wiederholten Stimulus
- Algorithmus:
  - Bandpass-Filter auf $s(t)$ für den Bereich $f \pm 2Hz$
  - Faltung($\phi(t, n)$) mit Wavelet um f:

$$G(t, f) = exp\left(\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) exp(i2\pi ft)$$

  - ..

PLS

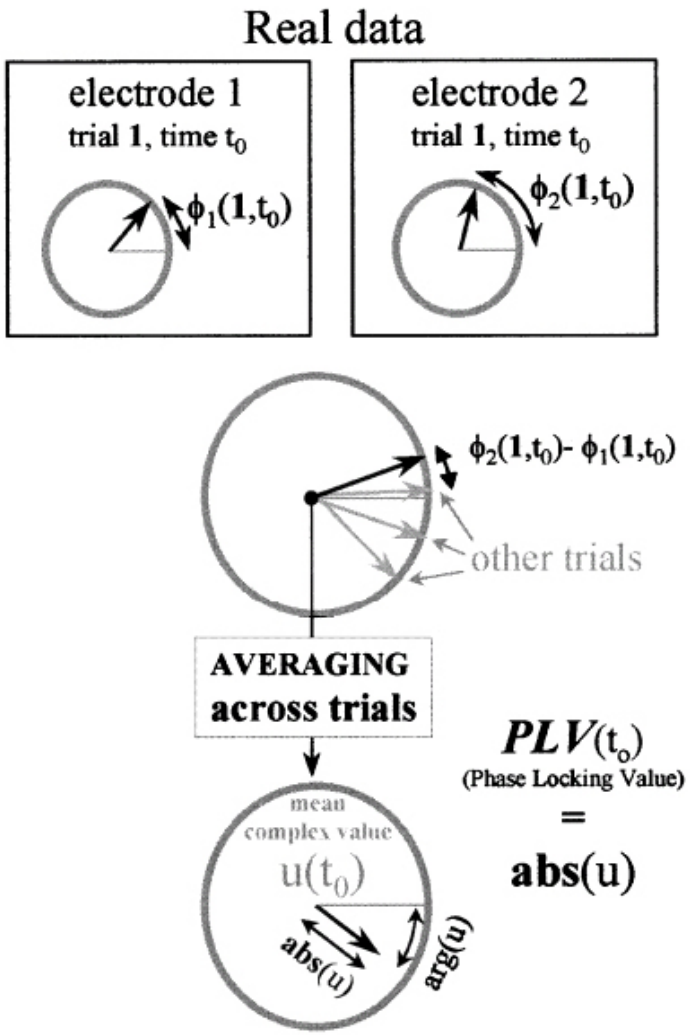

s(t)
filtering
step 1
f(t)
step 2
wavelet
a(t).e^{j(2πFt+φ(t))}
enveloppe
a(t)
cos (phase)
cos(φ(t))
phase of f(t) can be computed from its local maxima
1/F
φ(t)
Test
estimation
true phase

PLS

- Algorithmus:
  - Bandpass-Filter
  - Faltung
  - Phase-locking value(PLV):

$$PLV_t = \frac{1}{N}\left|\sum_{n=1}^{N} exp(i\theta(n,t))\right|$$

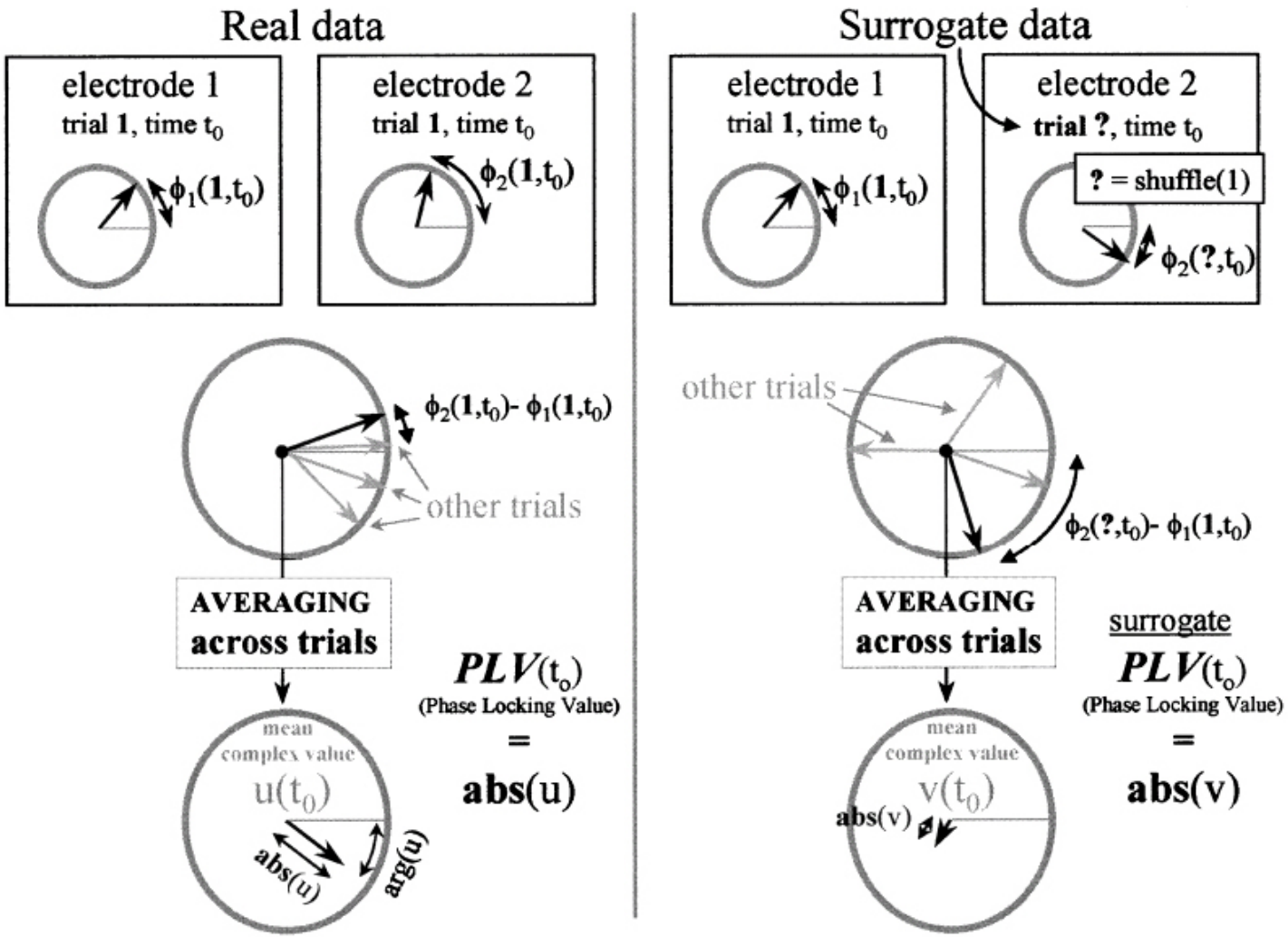
$$\theta(n,t) = \phi_1(n,t) - \phi_2(n,t)$$



Statistischer Fehlertest

- kein zulässige Annahme über Verteilung ⇒ zufällige Verwendung der Messdaten
- Voraussetzung: Phasen zwischen den Versuchen dürfen nicht konstant sein
- "neue" Signale unabgängig von Elektrode 1 durch Mischen → künstliche PLV aus 200 Serien

PLS


Real data
electrode 1
trial 1, time t0
ϕ1(1,t0)
electrode 2
trial 1, time t0
ϕ2(1,t0)
ϕ2(1,t0)- ϕ1(1,t0)
other trials
AVERAGING across trials
mean complex value
u(t0)
abs(u)
arg(u)
PLV(t0)
(Phase Locking Value)
=
abs(u)
Surrogate data
electrode 1
trial 1, time t0
ϕ1(1,t0)
electrode 2
trial ?, time t0
? = shuffle(1)
ϕ2(?,t0)
other trials
ϕ2(?,t0)- ϕ1(1,t0)
AVERAGING across trials
mean complex value
v(t0)
abs(v)
surrogate
PLV(t0)
(Phase Locking Value)
=
abs(v)

Statistischer Fehlertest

- kein zulässige Annahme über Verteilung $\Rightarrow$ zufällige Verwendung der Messdaten
- Voraussetzung: Phasen zwischen den Versuchen dürfen nicht konstant sein
- "neue" Signale unabgängig von Elektrode 1 durch Mischen $\rightarrow$ künstliche PLV aus 200 Serien

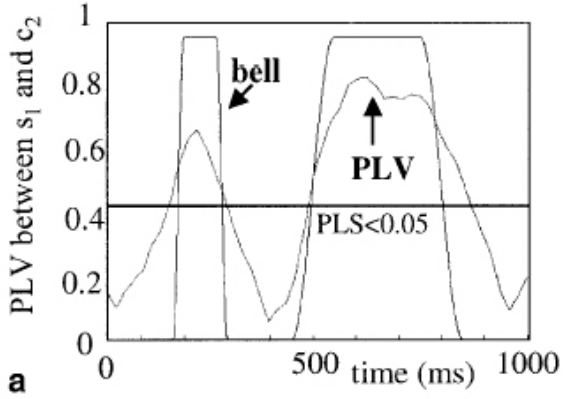
$\Rightarrow PLS < 5\%$

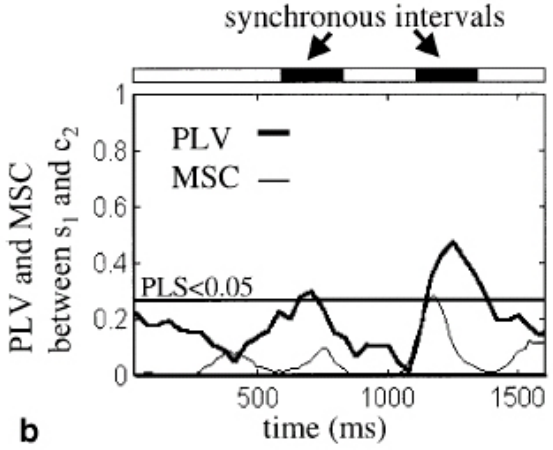
Kohärenz (magnitude squared coherence)

- traditioneller Ansatz
- DFT benötigt die Berechnung in Zeitfenster → schlechte zeitlich Auflösung oder nur auf stationäre Signale anwendbar
- Beeinflussung durch Amplitude → nicht speziell für Phasen-Synchronität
- Test gegen *white-noise*

Simulation

- Serie aus 50 Antworten basierend auf zwei Stimuli an zwei Stellen im Gehirn eines Epilepsiepatienten
- Bell-Funktion
- MSC bei unabhängige Amplituden





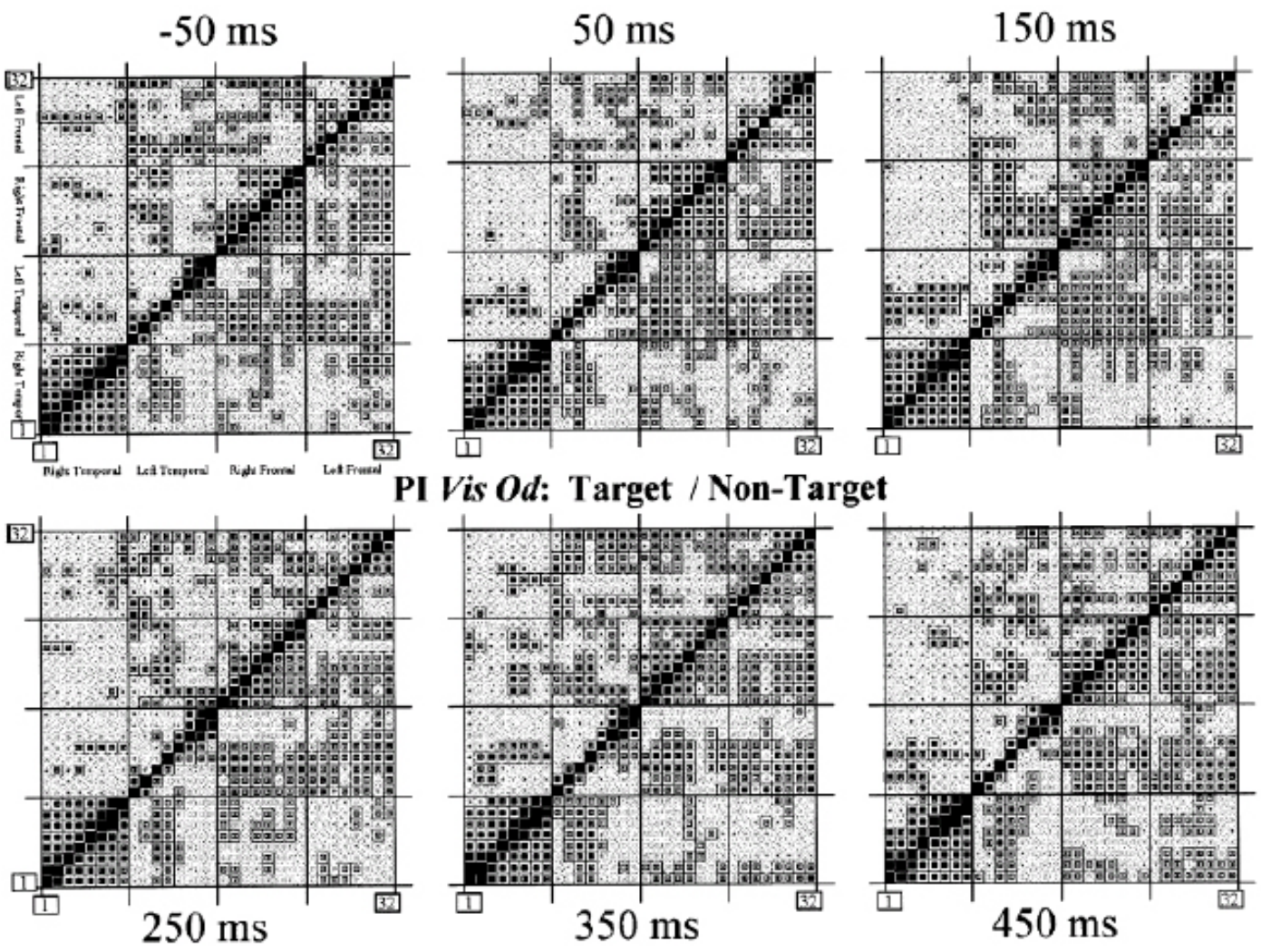
Messung am Menschen

- visuelle Unterscheidungsaufgabe
- lokale Synchronisation
- Langstrecken-Synchronisation

Messung am Menschen

- visuelle Unterscheidungsaufgabe
- lokale Synchronisation
- Langstrecken-Synchronisation

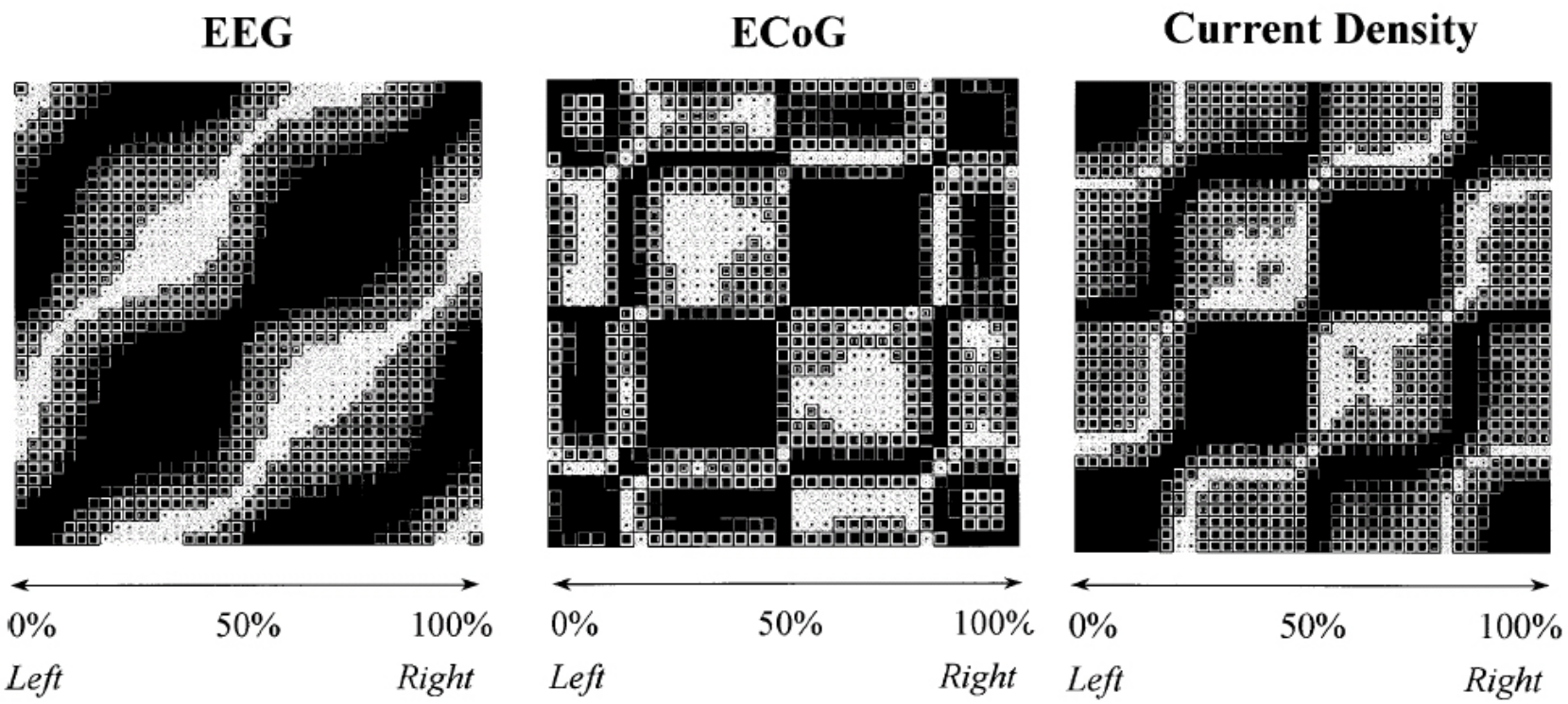
PLS


-50 ms
50 ms
150 ms
PI *Vis Od*: Target / Non-Target
250 ms
350 ms
450 ms
Right Temporal
Left Temporal
Right Frontal
Left Frontal

Spannungübertragung

- Unterscheidung
  - konstant in der Zeit
  - in allen Bereichen
- Reduzierung
  - Verbesserung der räumlichen Präzision
  - Inverses Debluring (ECoG)
  - Scalp current density (SCD)

PLS


EEG
ECoG
Current Density
0%
50%
100%
Left
Right
0%
50%
100%
Left
Right
0%
50%
100%
Left
Right

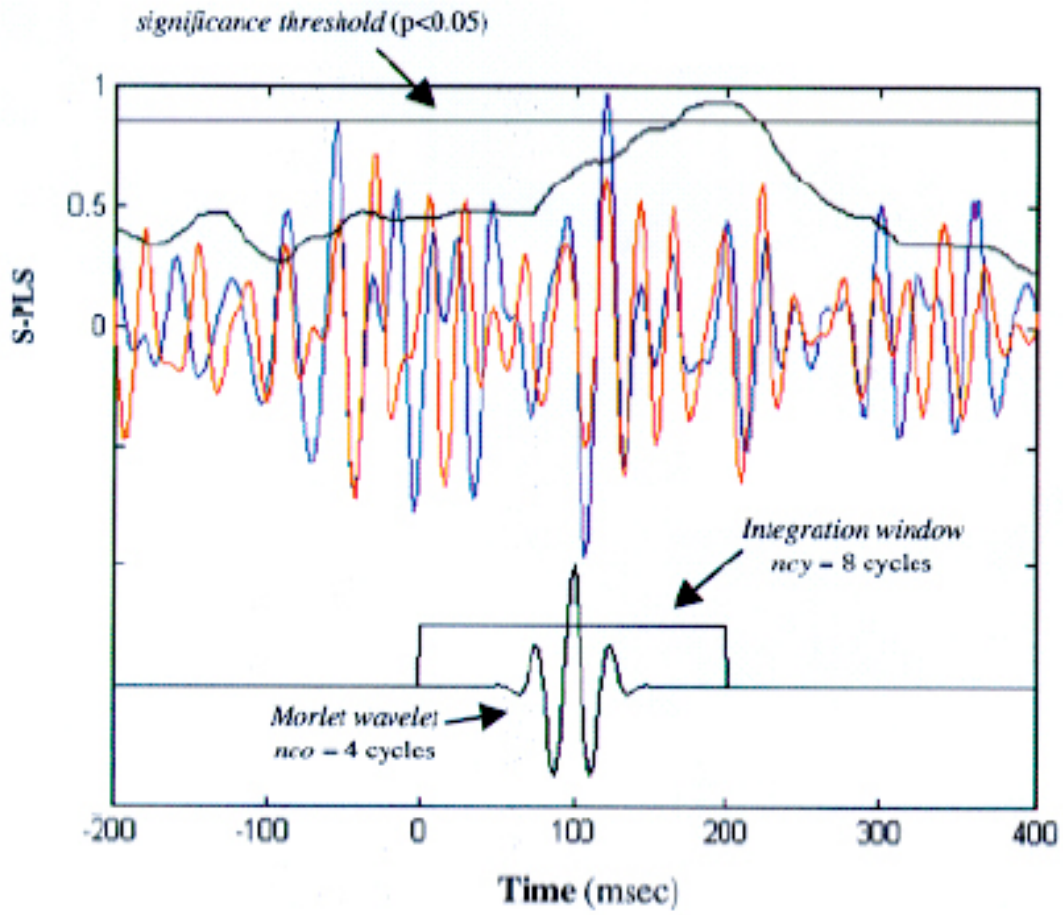
Mängel

Mängel

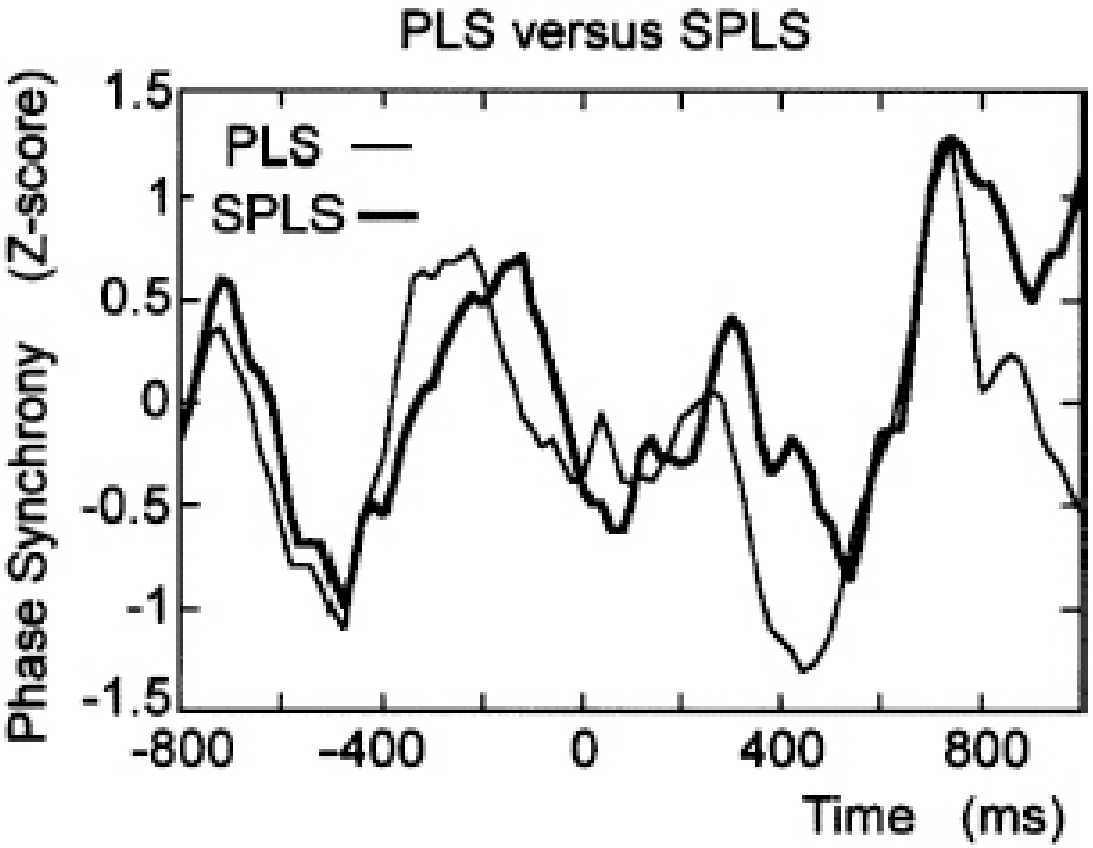
- beschränktes Frequenzband
- keine Untersuchung von Interaktion zw. Frequenzen
- Durchschnitt vs. Single trial (z.B bei Induced Messung)

Single-trial phase locking

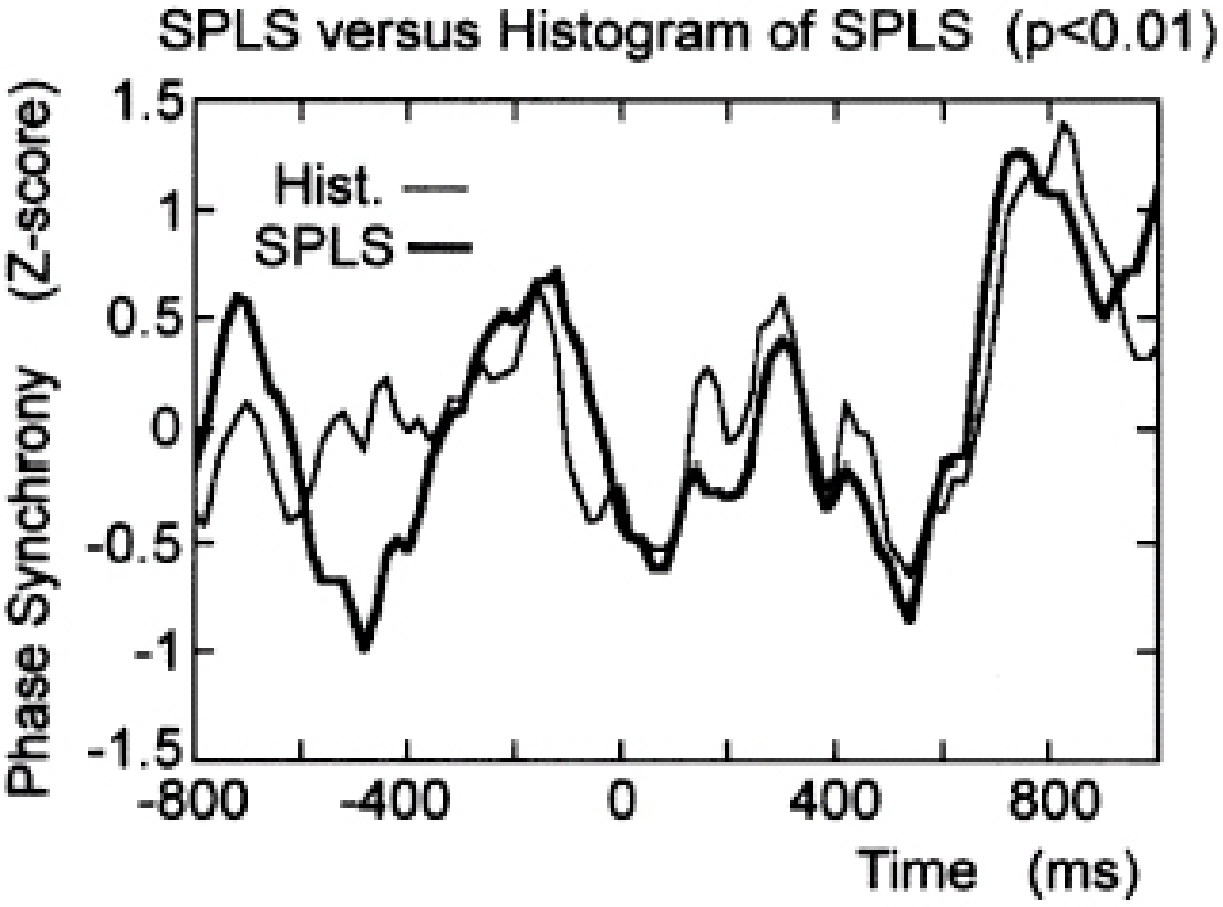
- Zeitfenster ⇒ Zeitliche vs. statistische Auflösung



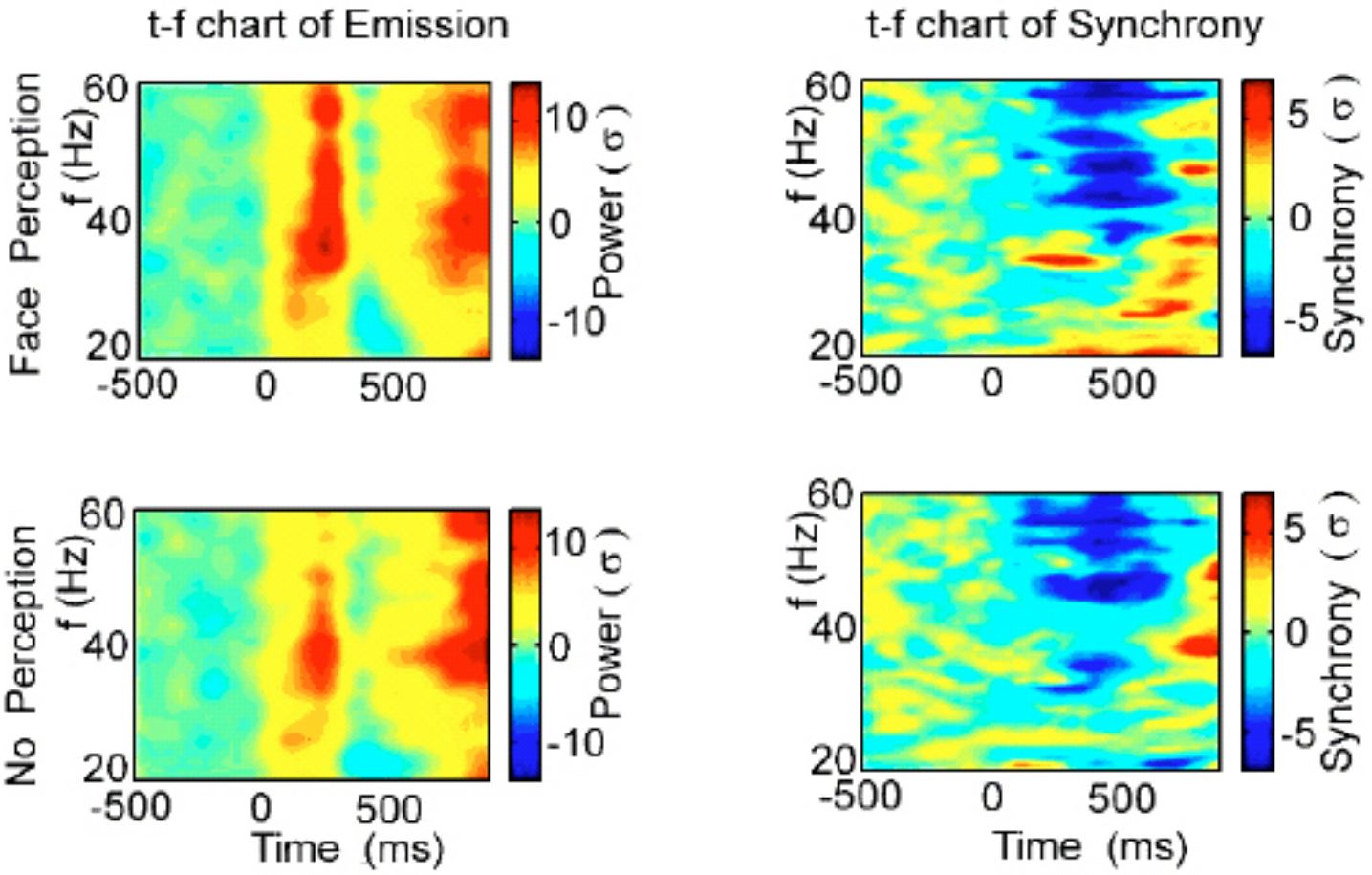
PLS vs. SPLS


PLS versus SPLS
PLS
SPLS
Phase Synchrony (Z-score)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-800
-400
0
400
800
Time (ms)

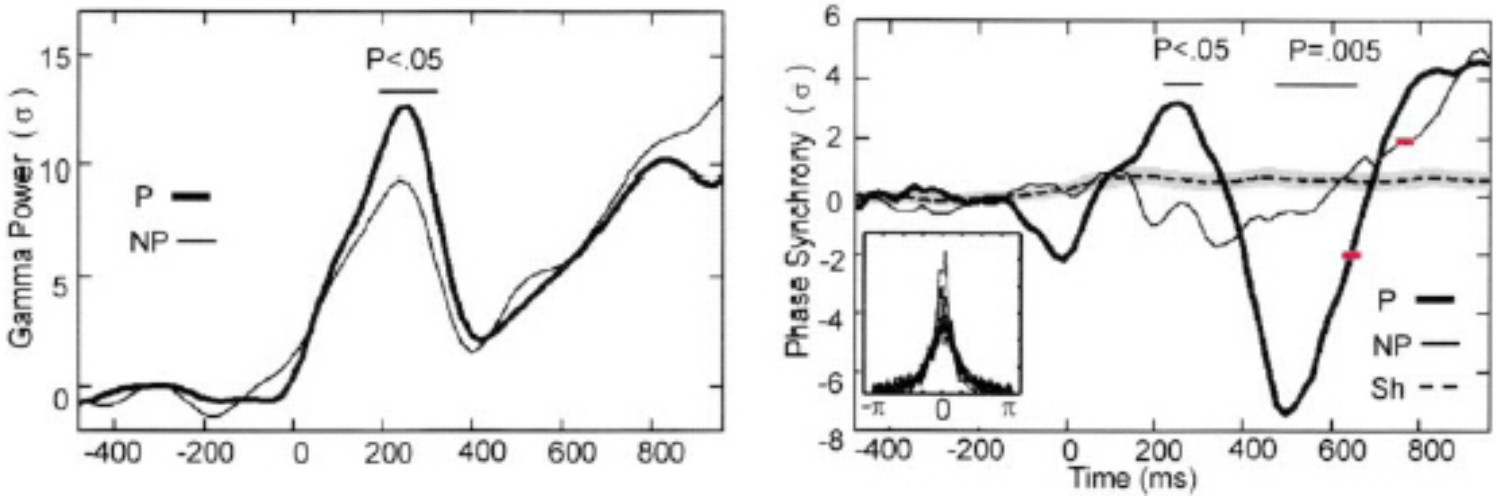
SPLS vs. SPLS-Histogramm ($p < 0.01$)



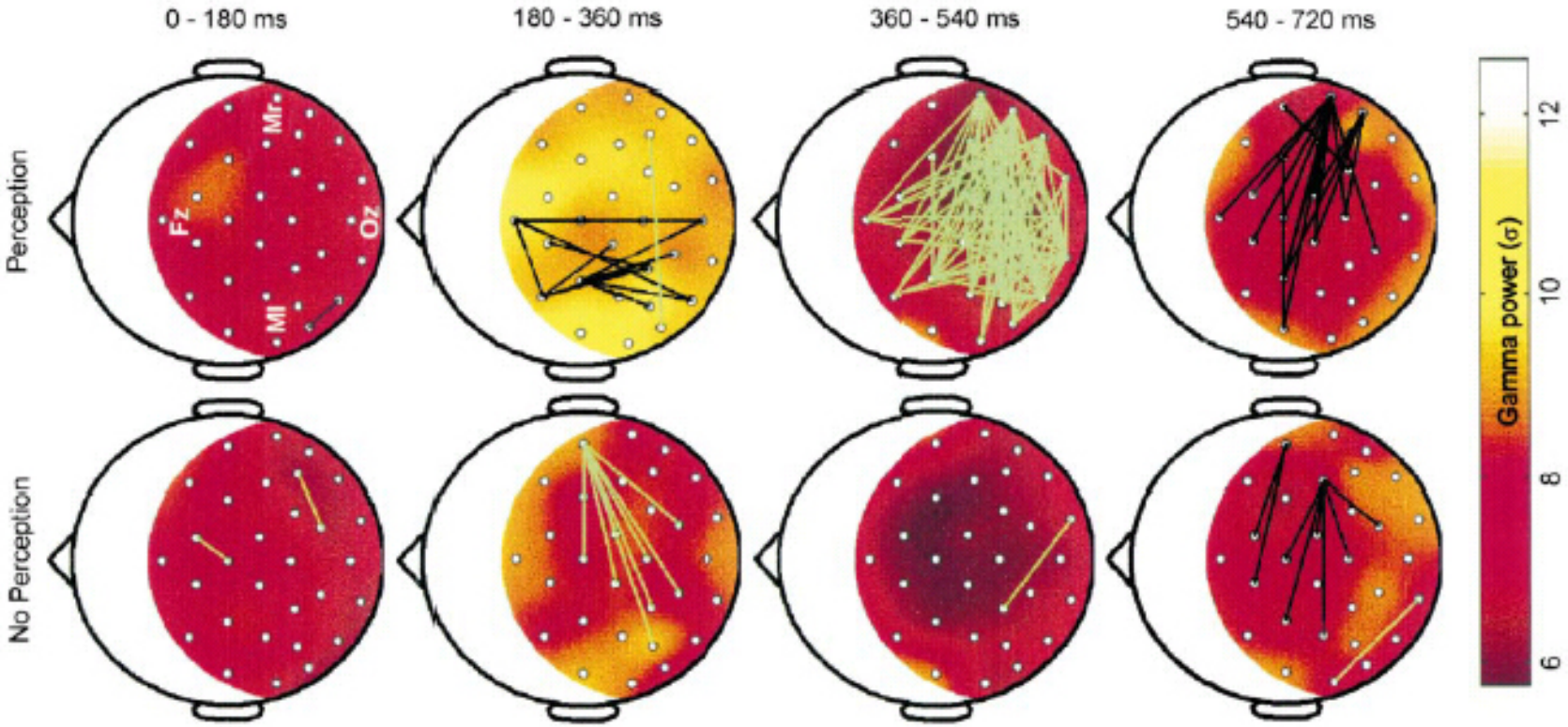
Ergebnisse


t-f chart of Emission
t-f chart of Synchrony
Face Perception
No Perception
f (Hz)
60
40
20
-500
0
500
Time (ms)
10
0
-10
Power (σ)
5
0
-5
Synchrony (σ)

Ergebnisse


P<.05
P
NP
Gamma Power (σ)
15
10
5
0
-400
-200
0
200
400
600
800
P<.05
P=.005
Phase Synchrony (σ)
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
P
NP
Sh
-π
0
π
Time (ms)

Perception Shadow



Zusammenfassung

- PLS
- S-PLS
  - langsamer als PLS
  - vergleichbare Ergebnisse
- S-PLS Histogramm
  - präziseste Technik

⇒ PLS zum Finden der signifikanten Frequenzen, S-PLS für detaillierte Analyse
⇒ Nachweis der Phasensynchronität möglich

Literatur

- Tallon-Baudry 1997: Oscillatory Gamma-Band (30-70 Hz) Activity Induced by a Visual Search Task in Humans
- Tallon-Baudry 1999: Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation
- Herrmann 2004: EEG oscillations and wavelet analysis
- Lachaux 1999: Measuring Phase Synchrony in Brain Signals
- Lachaux 2000: Studying single-trials of phase synchronous activity in the brain
- Rodriguez 1999: Perception's shadow: longdistance synchronization of human brain activity
- Freiwald 2001: Synchronization and assembly formation in the visual cortex
- Varela 2001: **THE BRAINWEB: PHASE SYNCHRONIZATION AND LARGE-SCALE INTEGRATION**

Download

Download unter:

tud.bashcomp.de