



Westfälische
Wilhelms-Universität
Münster

Konnektivität im Gehirn

Lutz Althüser, Tobias Frohoff-Hülsmann, Victor Kärcher,
Lukas Splitthoff, Timo Wiedemann

Unterstützt durch: Christian Himpe

Überblick

Motivation und Ziel

DCM-Bilineares Modell

DCM-Nichtlineares Modell

EEG Modell

Literatur

```

from programs import RK4 as RK4
from programs import Euler as RK1
from programs import hemodynamicModel as HM
from programs import bilinearModel as BM

# Parameter Beispiel 1
T = 100. # Endzeit
t0 = 0. # Anfangszeit
dt = 0.1 # Zeitschrittlänge
t = np.arange(t0, T+dt, dt) # Zeitarray

A = np.array([[ -1., 0., 0. ],
               [ 0.3, -1, 0.2 ],
               [ 0.6, 0., -1. ]]) # Kopplung

B1 = np.zeros((3,3)) # Induzierte Kopplung
B2 = np.array([[ 0. , 0. , 0. ],
               [ 0. , 0. , 0.8 ],
               [ 0.1, 0. , 0. ]])

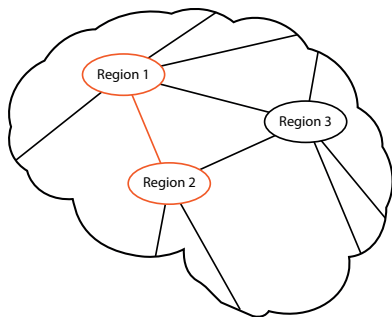
# Zusammenfassen der ind. Kopplung in ein Array
B = np.array([B1, B2])

# Außerer Einfluss auf Hirnaktivität
u = np.zeros((3, len(t))) # Stimulus u1
u[1, 451:550] = 2. # Stimulus u2
u[1, 251:350] = 5. # Stimulus u2
u[1, 691:910] = 2. # Stimulus u2

# Anfangsbedingungen
x_0 = np.ones(15)
x_0[0:6] = 0.

# Zusammenfassen der Parameter für das "hemodynamicModel"
theta = np.array([A, B, C])
    
```

Einleitung in DCM - Dynamic Causal Modelling



Interaktion zwischen
verschiedenen Hirnregionen

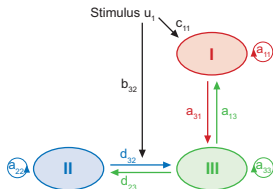
Konnektivität im Gehirn

Über die mathematische Modellierung
von Interaktionen zwischen mehreren
Regionen des Gehirns.

Ziel

Das Aufstellen eines einfachen und
realistischen neuronalen Modells aller
betrachteten, interagierenden
Gehirnregionen.

Bilineares Modell



Mathematische Beschreibung

- ▶ A: feste Verknüpfung der Hirnregionen
- ▶ B: Einfluss des Inputs auf Konnektivität
- ▶ C: Einfluss des Inputs auf neuronale Aktivität der Hirnregionen

$$\dot{z}(t) = f(z(t), u(t))$$

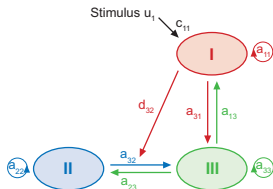
$$\approx f(0, 0) + \frac{\partial f}{\partial z} z + \frac{\partial f}{\partial u} u + \frac{\partial^2 f}{\partial z \partial u} uz$$

$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad B^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{32}^{(1)} & 0 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Nichtlineares Modell



$$\dot{z}(t) = f(z(t), u(t))$$

$$\approx f(0, 0) + \frac{\partial f}{\partial z} z + \frac{\partial f}{\partial u} u + \frac{\partial^2 f}{\partial z \partial u} z u + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \frac{z^2}{2}$$

$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u + \sum_i z_i D^i \cdot z$$

Mathematische Beschreibung

- ▶ A: feste Verknüpfung der Hirnregionen
- ▶ B: Einfluss des Inputs auf Konnektivität
- ▶ C: Einfluss des Inputs auf neuronale Aktivität der Hirnregionen
- ▶ D: Einfluss der Regionen auf Konnektivität

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} \\ 0 & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad D^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{32}^{(1)} & 0 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

EEG

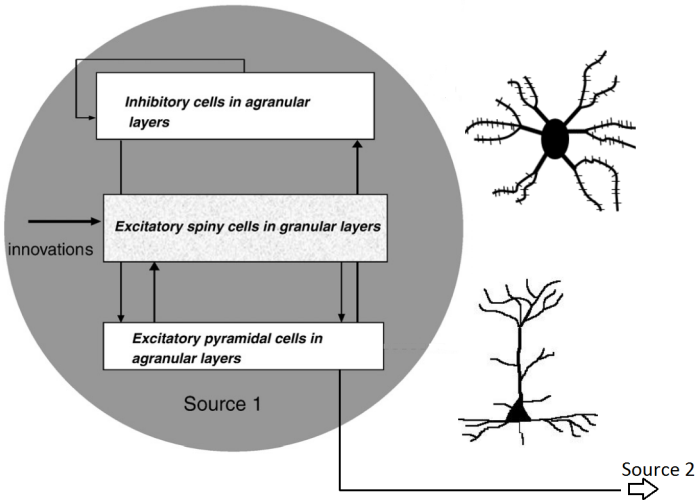
EEG = Elektroenzephalografie



Konzeptioneller Vergleich von fMRI- zu EEG-Modell

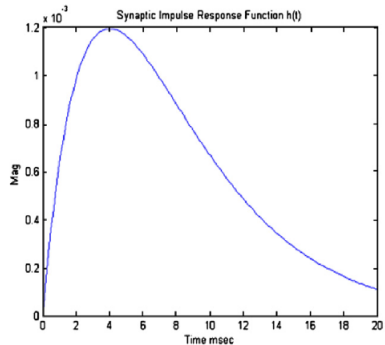
fMRI-Modell	EEG-Modell
Verknüpfung einzelner Neuronen	Verknüpfung von Gehirnbereichen und Subregionen untereinander
Taylorentwicklung	Eingangs- und Ausgangsoperatoren
Gehirnaktivität = abstrakte Größe biologisches Modell nötig	direktes Modell für Potentiale und Potentialflüsse

Das EEG-Modell



Mathematische Realisierung - Neuroneneingang

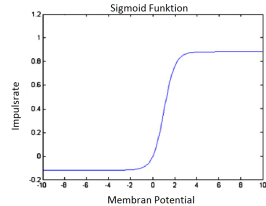
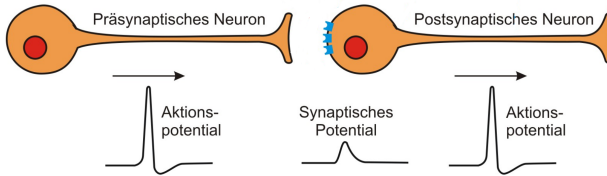
Physikalische Größen sind Membranpotentiale und Impulsrate



Präsynaptische Impulsrate → Postsynaptisches Membranpotential

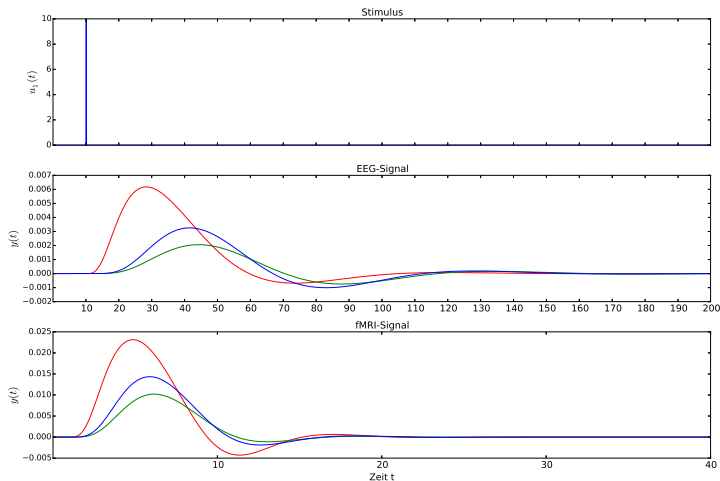
$$u_{ein}(t) \rightarrow v(t) = h(t) * u_{ein}(t)$$

Mathematische Realisierung - Neuronenausgang

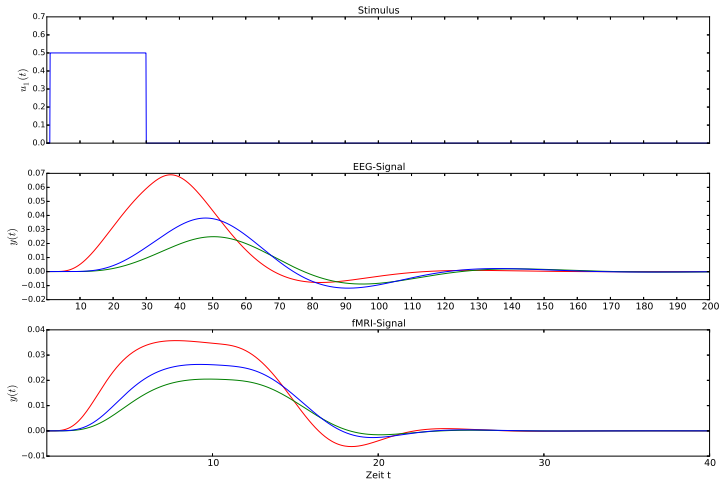


$$\begin{aligned} \text{Synaptisches Membranpotential} &\rightarrow \text{Impulsrate} \\ v(t) &\rightarrow u_{aus}(t) = S(v(t)) \end{aligned}$$

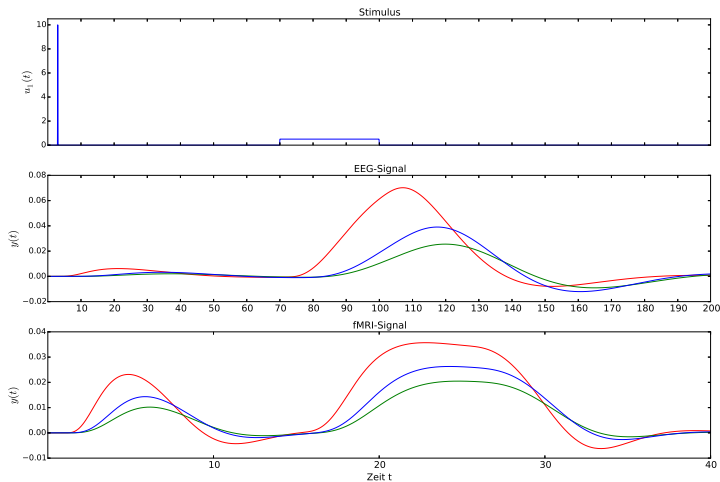
Experimente - Vergleich fMRI- mit EEG-Modell



Experimente - Vergleich fMRI- mit EEG-Modell



Experimente - Vergleich fMRI- mit EEG-Modell



Literatur

- *Dynamic causal modelling*

K.J. Friston, L. Harrison and W. Penny / *NeuroImage* **4** (2003)

web.mit.edu/swg/ImagingPubs/connectivity/Dcm_Friston.pdf

- *Synaptischer Spalt*

In: *Gedankenschatz: Bewusstsein- und Persönlichkeitsentfaltung*

<http://gedankenschatz.de/quantenphysik-im-kopf/> (Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)

- *Sternneuronen*

<http://gdpsychtech.blogspot.de/2014/06/>

medium-spiny-neurons-msn.html (Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)

- *Pyramidenzellen*

<http://www.ruf.rice.edu/~lngbrain/Sidhya/> (Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)

- *Aktionspotential und Neurotransmission*

In: *Institut for complex Systems, Forschungszentrum Jülich*

[http:](http://www.fz-juelich.de/ics/ics-4/DE/Forschungsthemen/02Biogene)

[//www.fz-juelich.de/ics/ics-4/DE/Forschungsthemen/02Biogene](http://www.fz-juelich.de/ics/ics-4/DE/Forschungsthemen/02Biogene)