



Westfälische
Wilhelms-Universität
Münster

Konnektivität im Gehirn

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

Unterstützt durch: Christian Himpe

Überblick

Dynamic causal modelling (DCM) für das funktionelle
Magnetresonanztomographie (fMRI)-Modell - Rückblick

Nichtlineare Erweiterung des fMRI-Modells

Elektroenzephalographie (EEG)-Modell

Literatur

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

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

B1 = np.zeros((3,3))
B2 = np.array([[0, 0, 0 ],
               [0, 0, 0.8 ],
               [0.1, 0, 0 ]]) # Induzierte Kopplung
B = np.array([B1, B2]) # Zusammenfassen der ind. Kopplung in ein
C = np.array([[1, 0 ],
               [0, 0 ],
               [0, 0 ]]) # äußerer Einfluss auf Hirnaktivität

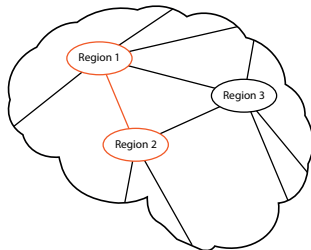
# äußerer Stimulus
u = np.zeros((len(B), len(t)))
u[0,101:-99:200] = 10. # Stimulus u1
u[1,451:550] = 2. # Stimulus u2
u[1,251:350] = 5. # Stimulus u2
u[1, 691:910] = 2. # Stimulus u2

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

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

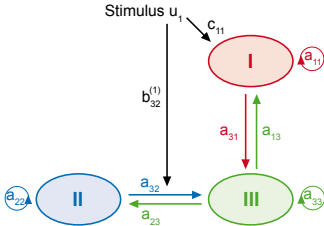
Dynamic Causal Modelling für fMRI

- *Ziel:*
Modellierung von Interaktionen in einem neuronalen Netzwerk
- *Ansatz:*
Modellierung neuronaler Zustandsentwicklung mithilfe einer Taylorreihen-Näherung
→ *Netzwerk-Modell*
- *Vergleichbarkeit mit Experiment:*
Hämodynamisches Modell:
BOLD-Kontrast \approx Sauerstoffgehalt der roten Blutkörperchen
→ *Observablen-Modell*



Interaktion zwischen
verschiedenen Hirnregionen

Bilineares Netzwerk-Modell



Mathematische Beschreibung

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

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

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

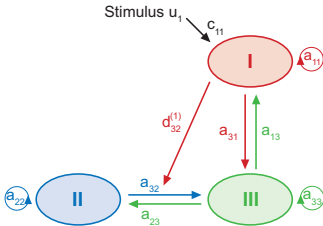
$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u$$

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

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

→ Neuronale Aktivität ↔ Konnektivität

Nichtlineare Erweiterung



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

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

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

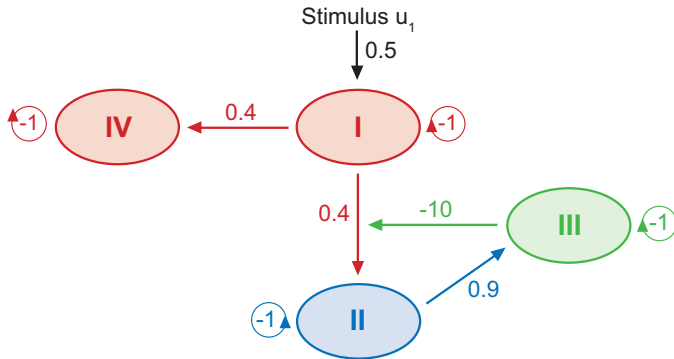
$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u + \frac{1}{2} \sum_i z_i D^i \cdot z$$

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

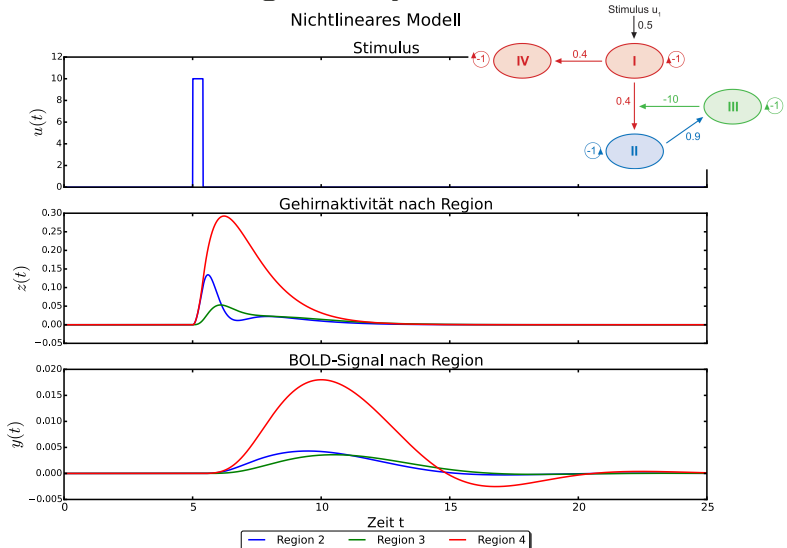
$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{32}^{(1)} & 0 \end{pmatrix}$$

Simulation eines 4-Regionen-Systems

Idee: Autoregulation einer Region

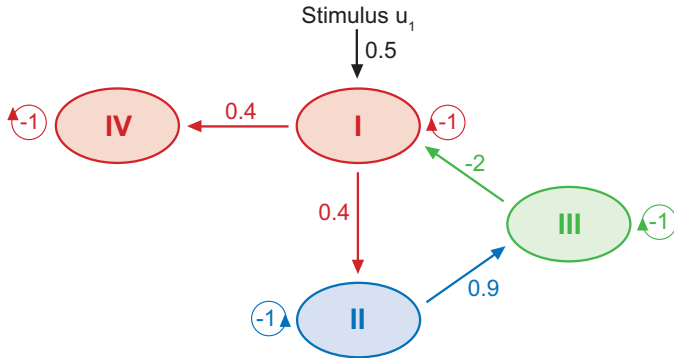


Simulation eines 4-Regionen-Systems



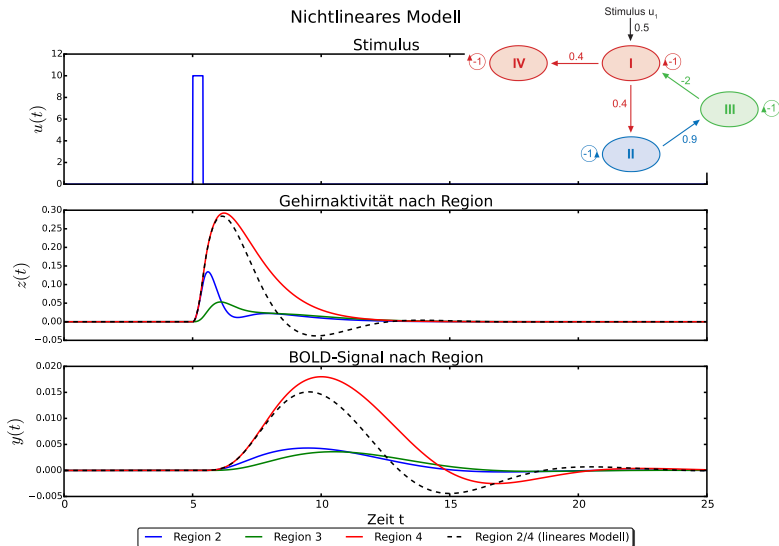
Simulation eines 4-Regionen-Systems

Frage: Selbiges Resultat ohne nichtlineare Erweiterung möglich?



Problem: Einfluss auf weitere Region

Simulation eines 4-Regionen-Systems



EEG-Modell

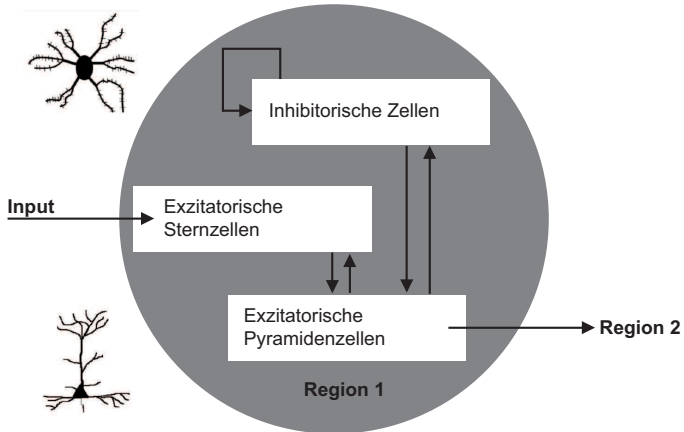
EEG = Elektroenzephalographie



Konzeptioneller Vergleich von fMRI- zu EEG-Modell

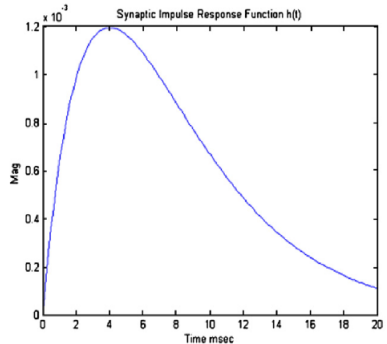
fMRI-Modell	EEG-Modell
<i>Biologische Beschreibung</i>	
Verknüpfung einzelner Neuronen	Verknüpfung von Gehirnbereichen und Subregionen untereinander
<i>Zielgrößen</i>	
Gehirnaktivität = abstrakte Größe → biologisches Modell nötig	direktes Modell für Potentiale und Impulsraten
<i>Mathematische Beschreibung</i>	
Taylorentwicklung	Eingangs- und Ausgangsoperatoren

Das EEG-Modell



Mathematische Realisierung - Neuroneneingang

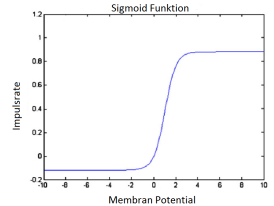
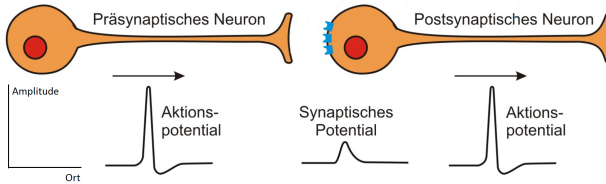
Physikalische Größen sind Membranpotentiale und Impulsraten



Präsynaptische Impulsrate \rightarrow Postsynaptisches Membranpotential

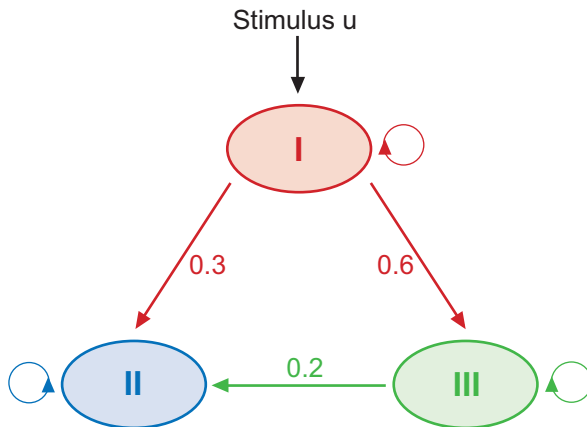
$$u_{ein}(t) \rightarrow v(t) = h(t) * u_{ein}(t)$$

Mathematische Realisierung - Neuronenausgang

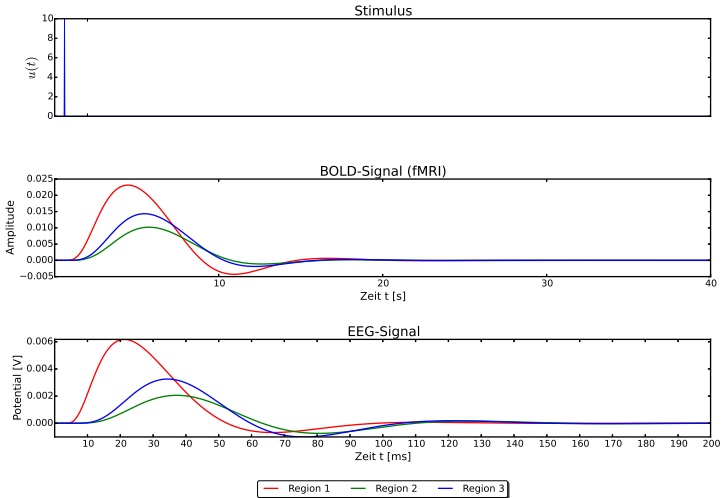


$$\begin{aligned}
 \text{Synaptisches Membranpotential} &\rightarrow \text{Impulsrate} \\
 v(t) &\rightarrow u_{aus}(t) = S(v(t))
 \end{aligned}$$

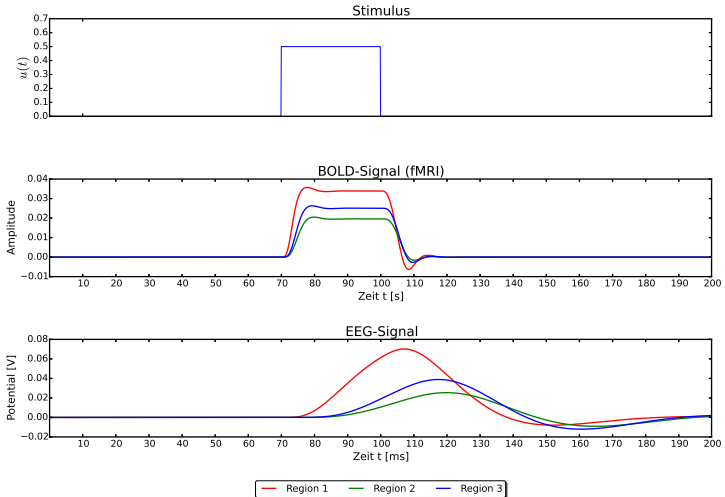
Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell



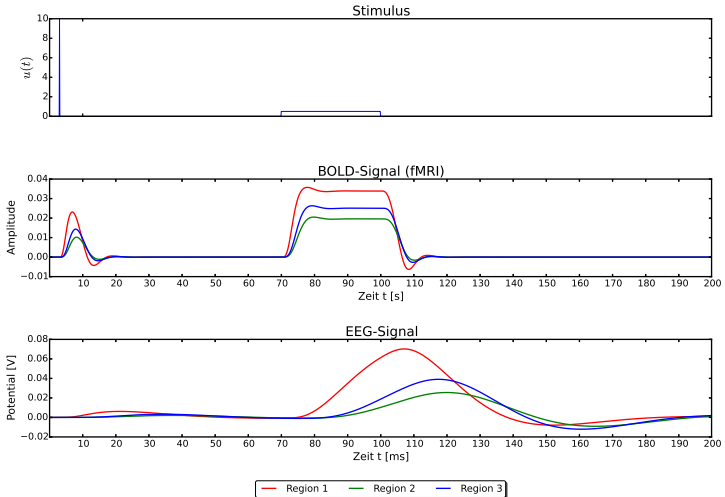
Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell



Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell



Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell



Zusammenfassung

DCM für fMRI:

- ▶ Netzwerkmodell \neq Observablenmodell
- ▶ *linearer Term*:
Gehirn mit statischer Konnektivität
- ▶ *bilinearer + nichtlinearer Term*:
Gehirn mit dynamischer Konnektivität
- ▶ *Beschreibung andauernder Gehirnaktivität*

Zusammenfassung

DCM für fMRI:

- ▶ Netzwerkmodell \neq Observablenmodell
- ▶ *linearer Term*:
Gehirn mit statischer Konnektivität
- ▶ *bilinearer + nichtlinearer Term*:
Gehirn mit dynamischer Konnektivität
- ▶ *Beschreibung andauernder Gehirnaktivität*

DCM für EEG:

- ▶ Netzwerkmodell = Observablenmodell
- ▶ Gehirn mit Substrukturen: intrinsische Dynamik
- ▶ *Auflösung kurzzeitiger Gehirnaktivität*

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)

Literatur

- ▶ *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)

(Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)

- ▶ *EEG and ERP Laboratory Experiment Demonstration*

<http://jerlab.psych.sc.edu/infantdevelopmentlab/pwreegdemobaby/pwrbabydemo1.htm> (Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)