



Westfälische  
Wilhelms-Universität  
Münster

# Konnektivität im Gehirn

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

Unterstützt durch: Christian Himpe

# Überblick

DCM für ein 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, dt) # Zeitarray

A = np.array([[[-1., 0., 0. ],
               [0.3, -1, 0.2],
               [0.6, 0., -1.]] # Kopplung
               .zeros((3,3)) # Induzierte Kopplung
               .array([[0, 0, 0 ],
                       [0, 0, 0.8],
                       [0.1, 0, 0 ]]) # Zusammenfassen der ind. Kopplung in ei
B = np.array([B1, B2]) # äußerer Einfluss auf Hirnaktivität

C = np.array([[1, 0],
              [0, 0],
              [0, 0]]) # äußerer Einfluss auf Hirnaktivität

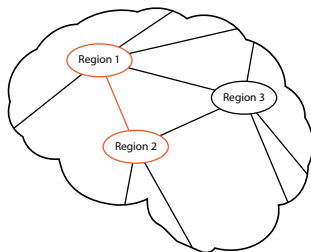
# äußerer Stimulus
u = np.zeros((len(B), len(t)))
u[0, 101:-99:200] = 10. # Stimulus u1
u[1, 451:550] = 2. # Stimulus u2
u[1, 251:350] = 5. # Stimulus u2
u[1, 691:910] = 2. # Stimulus u2

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

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

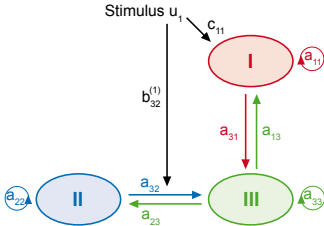
# Dynamic Causal Modelling für fMRI

- *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



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

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

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

## Mathematische Beschreibung

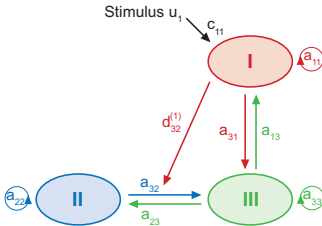
- ▶ A: feste Verknüpfung der Hirnregionen
- ▶ B: Einfluss des Inputs auf Konnektivität
- ▶ C: Einfluss des Inputs auf neuronale Aktivität der Hirnregionen

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

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

→ 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

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

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

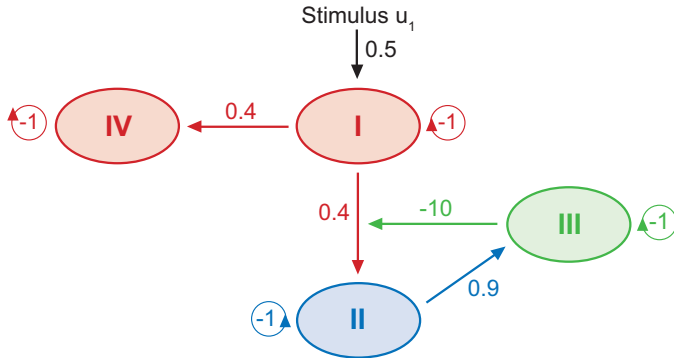
$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u + \frac{1}{2} \sum_i z_i D^i \cdot z$$

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

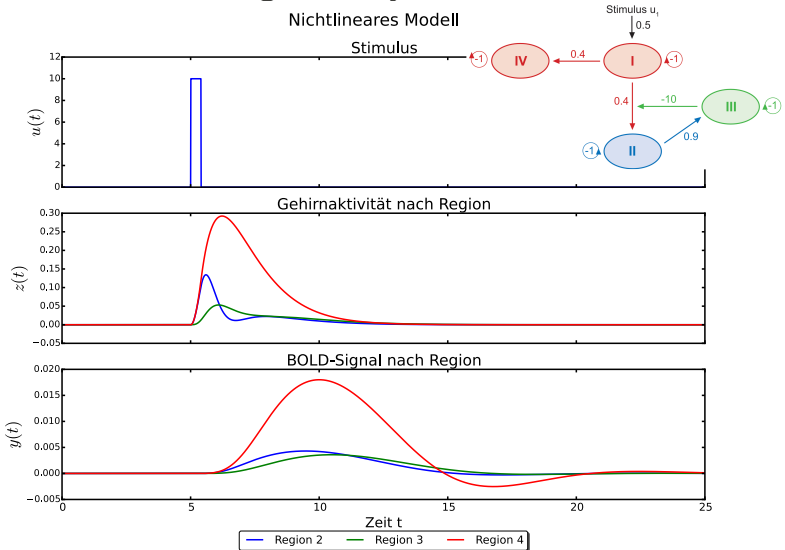
$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{32}^{(1)} & 0 \end{pmatrix}$$

# Simulation eines 4-Regionen-Systems

Idee: Autoregulation einer Region

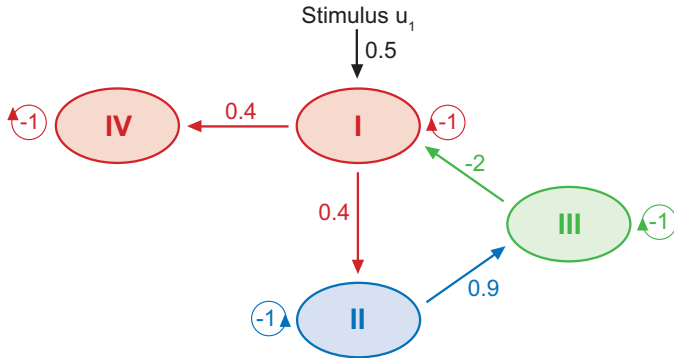


# Simulation eines 4-Regionen-Systems



# Simulation eines 4-Regionen-Systems

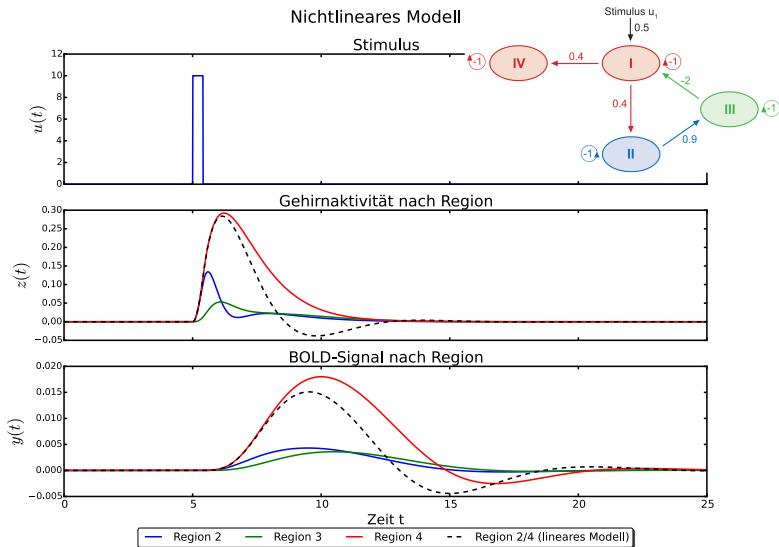
Frage: Selbiges Resultat ohne nichtlineare Erweiterung möglich?



Problem: Einfluss auf weitere Region



# Simulation eines 4-Regionen-Systems



# EEG-Modell

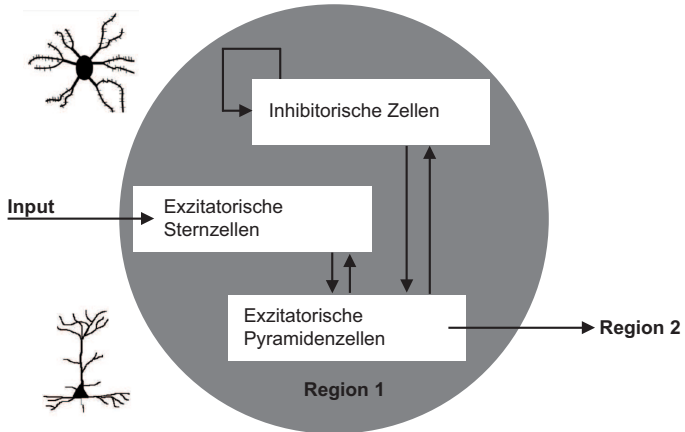
**EEG = Elektroenzephalographie**



# Konzeptioneller Vergleich von fMRI- zu EEG-Modell

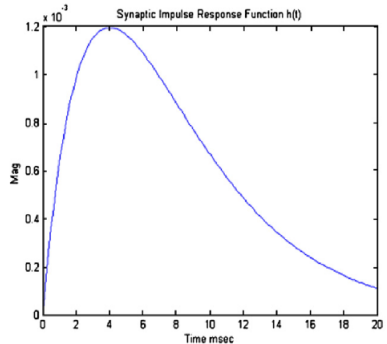
fMRI-Modell	EEG-Modell
<i>Biologische Beschreibung</i>	
Verknüpfung einzelner Neuronen	Verknüpfung von Gehirnbereichen und Subregionen untereinander
<i>Zielgrößen</i>	
Gehirnaktivität = abstrakte Größe → biologisches Modell nötig	direktes Modell für Potentiale und Impulsraten
<i>Mathematische Beschreibung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

# Das EEG-Modell



# Mathematische Realisierung - Neuroneneingang

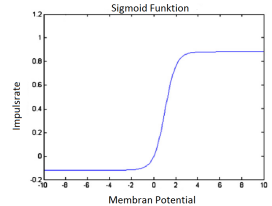
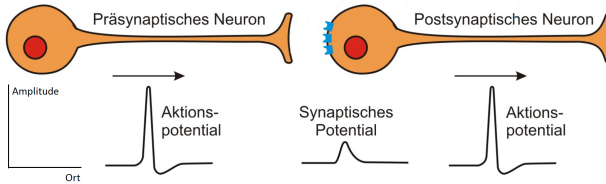
Physikalische Größen sind Membranpotentiale und Impulsraten



Präsynaptische Impulsrate  $\rightarrow$  Postsynaptisches Membranpotential

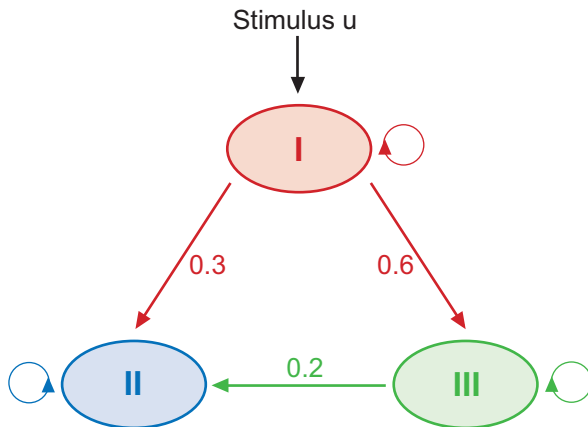
$$u_{ein}(t) \rightarrow v(t) = h(t) * u_{ein}(t)$$

# Mathematische Realisierung - Neuronenausgang

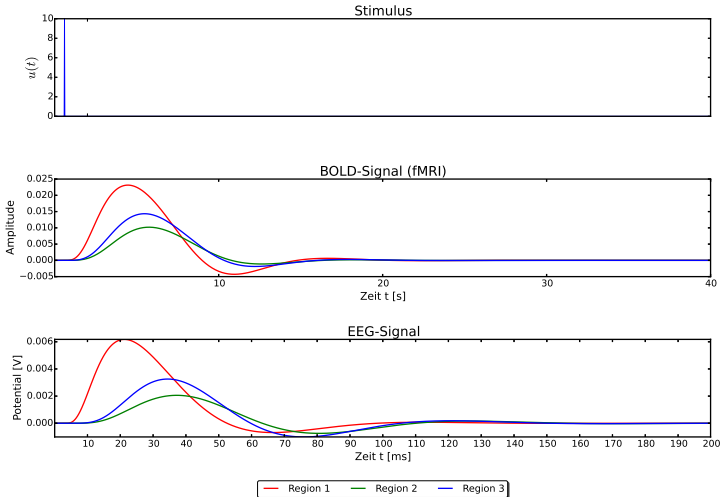


$$\begin{aligned}
 \text{Synaptisches Membranpotential} &\rightarrow \text{Impulsrate} \\
 v(t) &\rightarrow u_{aus}(t) = S(v(t))
 \end{aligned}$$

# Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell

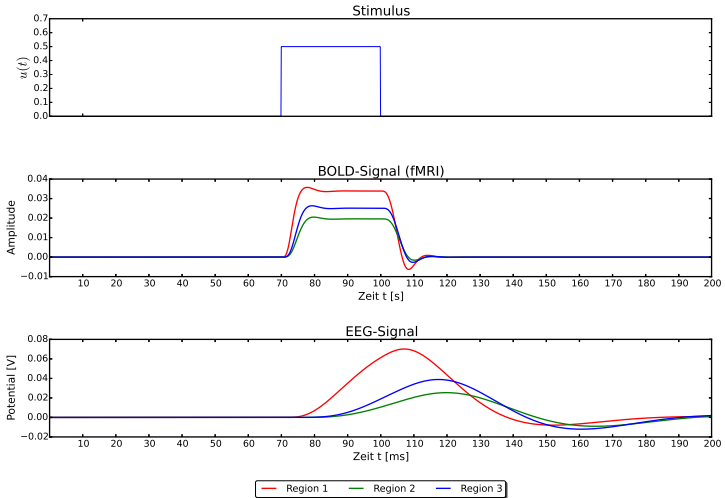


# Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell

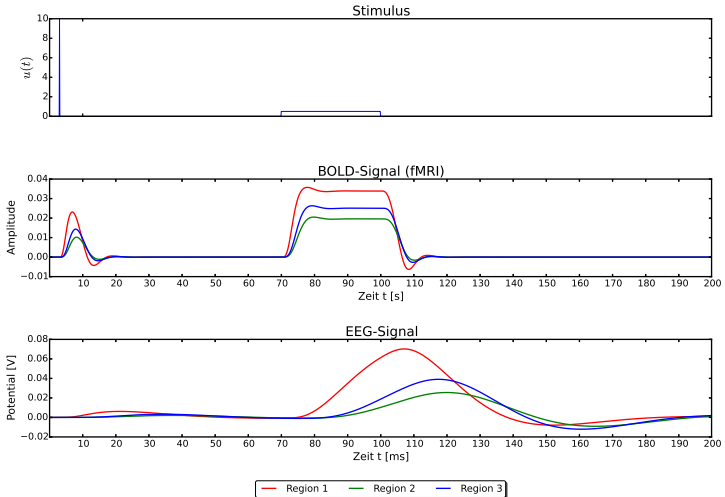




# Experimente - Vergleich lineares fMRI- mit EEG-Modell



# 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
- ▶ *Auflösung der Gehirnaktivität auf langer Zeitskala*

# Zusammenfassung

## DCM für fMRI:

- ▶ Netzwerkmodell  $\neq$  Observablenmodell
- ▶ *linearer Term*:  
Gehirn mit statischer Konnektivität
- ▶ *bilinearer + nichtlinearer Term*:  
Gehirn mit dynamischer Konnektivität
- ▶ *Auflösung der Gehirnaktivität auf langer Zeitskala*

## DCM für EEG:

- ▶ Netzwerkmodell = Observablenmodell
- ▶ Gehirn mit Substrukturen: intrinsische Dynamik
- ▶ *Auflösung der Gehirnaktivität auf kurzer Zeitskala*  
 $\Rightarrow$  *Spektralanalyse*

# Literatur

- *Dynamic causal modelling*

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

[web.mit.edu/swg/ImagingPubs/connectivity/Dcm\\_Friston.pdf](http://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](http://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](http://jerlab.psych.sc.edu/infantdevelopmentlab/pwreegdemobaby/) (Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)