



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 fMRI - Rückblick

Nichtlineare Erweiterung des Modells

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

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 Array

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

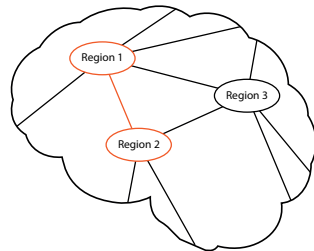
# äußerer Stimulus
u = np.zeros((len(B), len(t)))
u[0, 101:-99:200] = 10. # Stimulus u1
u[1, 451:550] = 2. # Stimulus u2
u[1, 251:350] = 5. # Stimulus u2
u[1, 691:910] = 2. # Stimulus u2

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

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

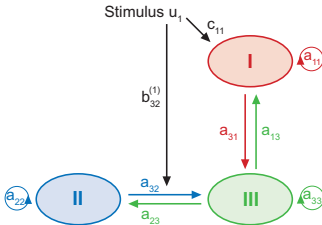
# Dynamic Causal Modelling für fMRI

- *Ziel:*  
Modellierung von Interaktionen in einem neuronalen Netzwerk
- *Ansatz:*  
Modellierung neuronaler Zustandsentwicklung mithilfe einer Taylorreihen-Näherung  
→ *Netzwerk-Modell*
- *Vergleichbarkeit mit Experiment:*  
Hämodynamisches Modell:  
Basierend auf Variation des Blutvolumens und des desoxygenierten Hämoglobins  
→ *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

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

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

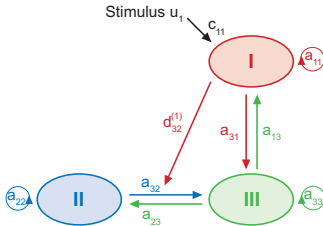
$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u$$

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

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

→ 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

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

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

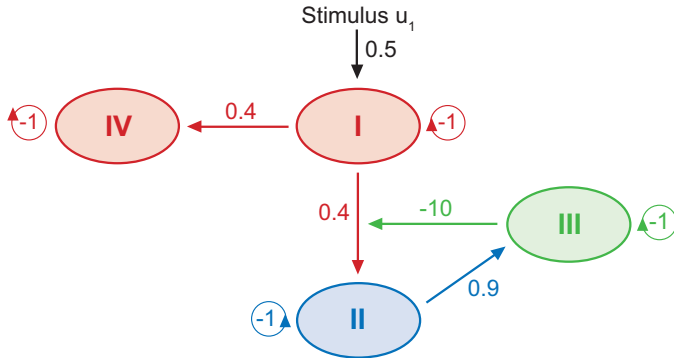
$$\dot{z}(t) = A \cdot z + \sum_j u_j B^j \cdot z + C \cdot u + \frac{1}{2} \sum_i z_i D^i \cdot z$$

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

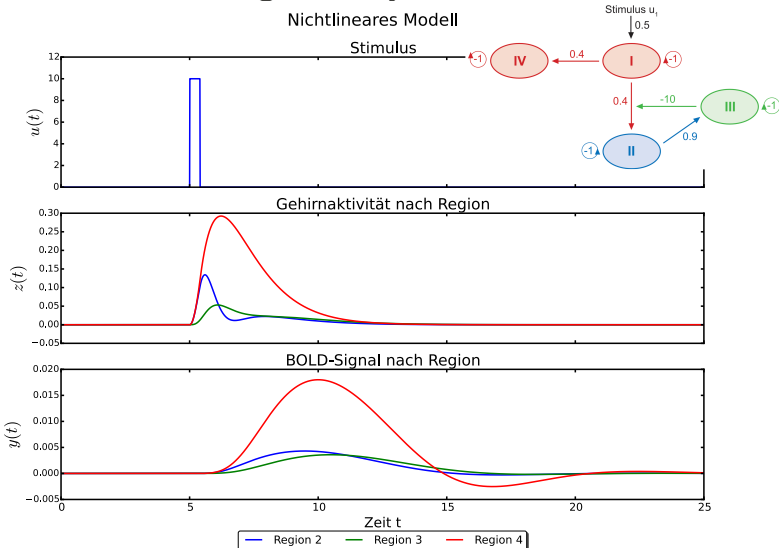
$$C = \begin{pmatrix} c_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{32}^{(1)} & 0 \end{pmatrix}$$

# Simulation eines 4-Regionen-Systems

Idee: Autoregulation einer Region

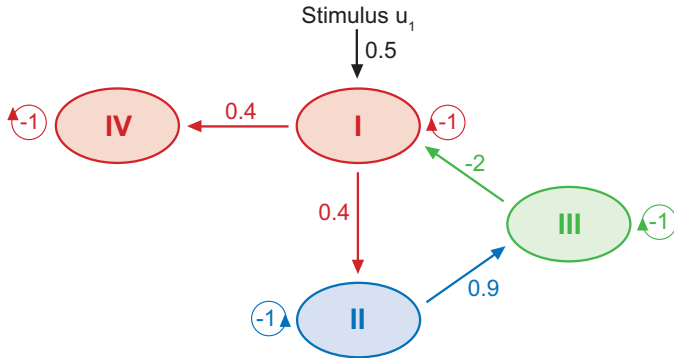


# Simulation eines 4-Regionen-Systems



# Simulation eines 4-Regionen-Systems

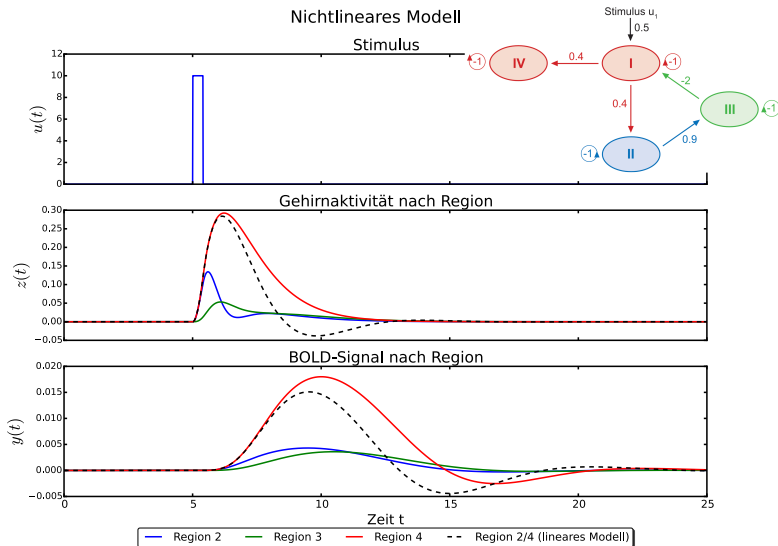
Frage: Selbiges Resultat ohne nichtlineare Erweiterung möglich?



Problem: Einfluss auf weitere Region



# Simulation eines 4-Regionen-Systems



# EEG

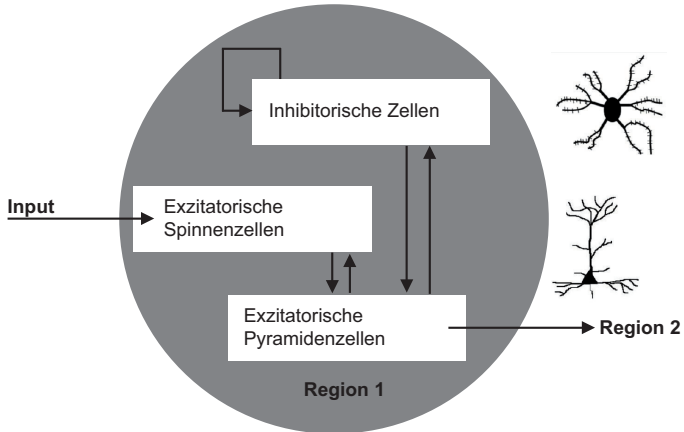
**EEG = Elektroenzephalografie**



# Konzeptioneller Vergleich von fMRI- zu EEG-Modell

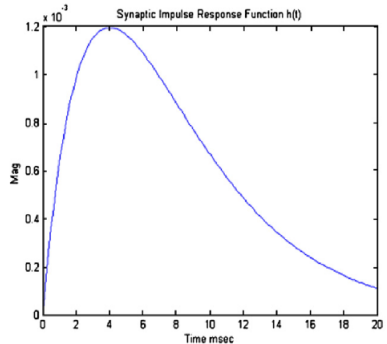
<b>fMRI-Modell</b>	<b>EEG-Modell</b>
Verknüpfung einzelner Neuronen	Verknüpfung von Gehirnbereichen und Subregionen untereinander
Taylorentwicklung	Eingangs- und Ausgangsoperatoren
Gehirnaktivität = abstrakte Größe biologisches Modell nötig	direktes Modell für Potentiale und Potentialflüsse

# Das EEG-Modell



# Mathematische Realisierung - Neuroneneingang

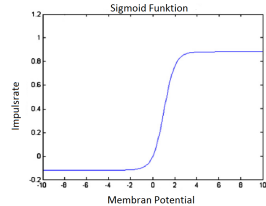
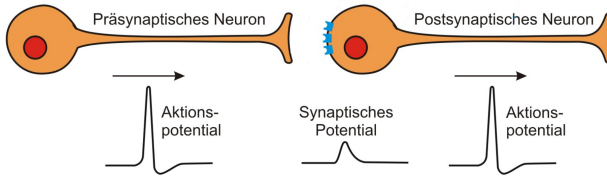
Physikalische Größen sind Membranpotentiale und Impulsrate



Präsynaptische Impulsrate → Postsynaptisches Membranpotential

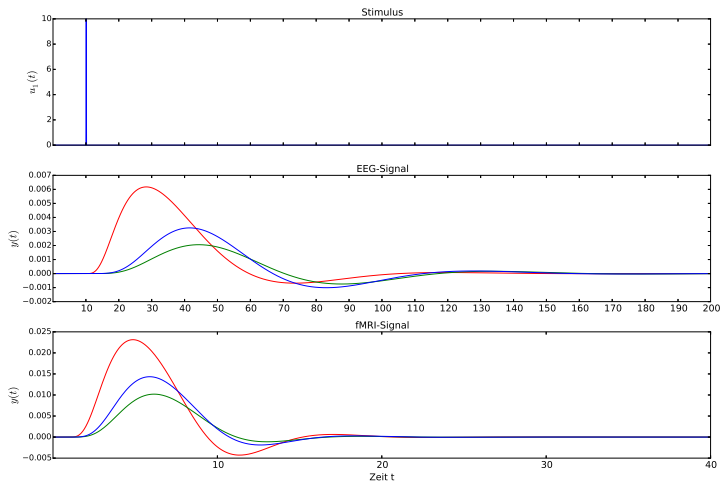
$$u_{ein}(t) \rightarrow v(t) = h(t) * u_{ein}(t)$$

# Mathematische Realisierung - Neuronenausgang

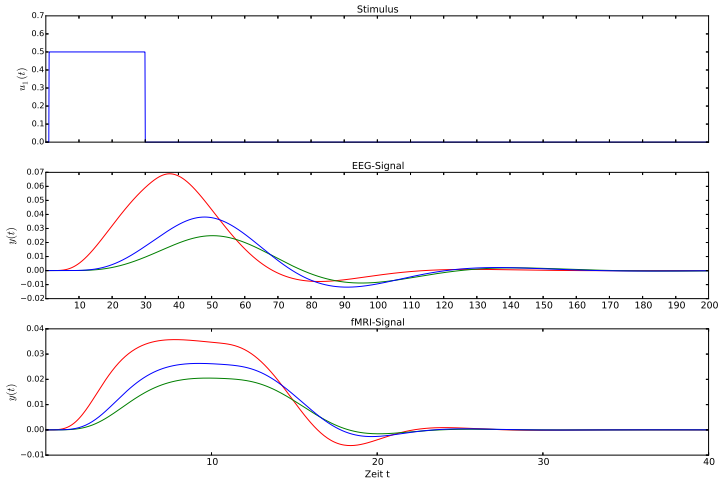


$$\begin{aligned}
 \text{Synaptisches Membranpotential} &\rightarrow \text{Impulsrate} \\
 v(t) &\rightarrow u_{aus}(t) = S(v(t))
 \end{aligned}$$

# Experimente - Vergleich fMRI- mit EEG-Modell

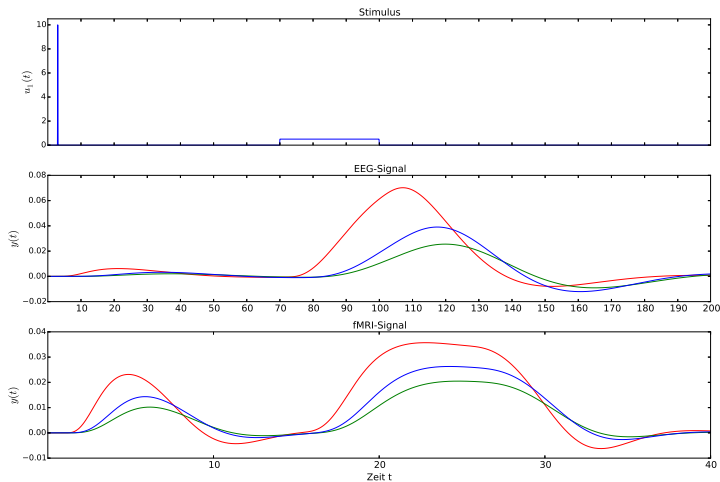


# Experimente - Vergleich fMRI- mit EEG-Modell





# Experimente - Vergleich fMRI- mit EEG-Modell



# Zusammenfassung

# 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/pwrbabydemo1.htm) (Abgerufen: 6. Juli 2016, 12:28 UTC)