



Westfälische
Wilhelms-Universität
Münster

Konnektivität im Gehirn

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

Überblick

Motivation und Ziel

Die Modelle

Lineares Modell

Bilineraes Modell

Hämodynamisches Modell

Numerische Methoden

Euler-Verfahren

Runge-Kutta-Verfahren (4. Ordnung)

Numerische Simulation

2-Regionen-System

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 ]])

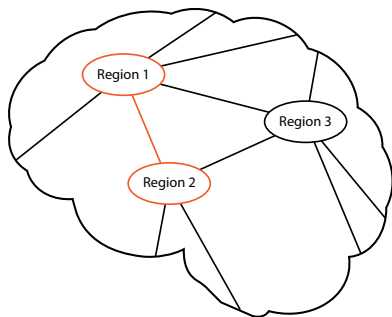
C = np.array([B1, B2]) # Zusammenfassen der ind. Kopplung in ei

# äußerer Einfluss auf Hirnaktivität
u = np.zeros((3, len(t)))
u[1, 451:550] = 2. # Stimulus u1
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 Model



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
interagierenden Gehirnregionen.

Einleitung in DCM - Dynamic Causal Model

[Hier ein nettes Bild]

Ziel

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

- ▶ Rückschlüsse auf die Verschaltung von Hirnregionen
- ▶ Einfluss der Veränderungen in der neuronalen Aktivität

Datengrundlage des DCM sind funktionelle
Magnetresonanztomographien.

Lineares Modell



Vernetzung von
Hirnregionen

u Inputs $\rightarrow z$ Outputs pro Hirnregion

Inputs

- ▶ direkten Input: Veränderung des neuronalen Zustands
- ▶ latenten Input: Veränderung der Vernetzung

Outputs

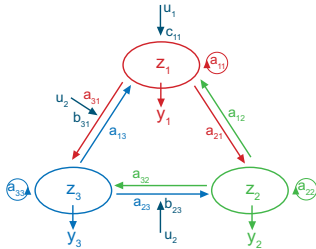
- ▶ neuronale Aktivität in der Hirnregion
- ▶ ...

$$\dot{z} = A + Cu$$

Matrix A : Konnektivitätsmatrix - Verschaltung der Hirnregionen

Matrix C : Einfluss der Inputs auf die neuronale Aktivität einer Hirnregion

Bilineares Modell



Modell

- n verschiedene Gehirnregionen mit den Zustandsvariablen z_i mit $i = 1, \dots, n$
- Aktivität durch vorgegebenes Eingangssignal bestimmt

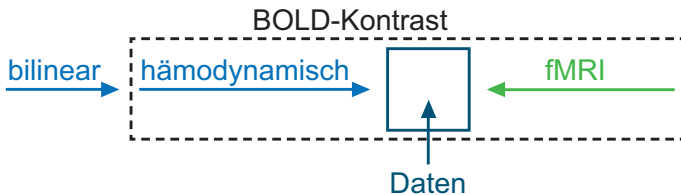
Vernetzung von 3 Hirnregionen

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

$$= \left\{ \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \right\}$$

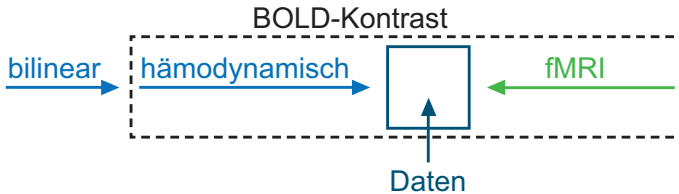
Vergleichbarkeit

Bilineare Modell \Rightarrow Gehirnaktivitäten $z_i(t)$

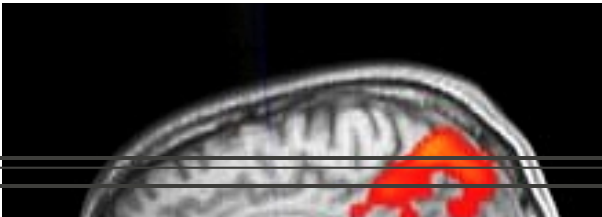


Vergleichbarkeit

Bilineare Modell \Rightarrow Gehirnaktivitäten $z_i(t)$



Experiment (funktionelle MRT) \Rightarrow BOLD-Signal/Kontrast $y_i(t)$
 \approx Sauerstoffgehalt der roten Blutkörperchen



Hämodynamisches Modell

4 biophysikalische Zustandsvariablen übermitteln $z_i(t) \rightarrow y_i(t)$:

$s_i(t)$: Zusammenfassung mehrerer neurogener Signale

$f_i^{in}(t)$: (sauerstoffreicher) Blutzufuss

$v_i(t)$: Venenvolumen

$q_i(t)$: Desoxyhämoglobinkonzentration

Biophysikalisch:

$$\dot{s}_i = z_i - \kappa s_i - \gamma(f_i^{in} - 1)$$

$$\dot{f}_i^{in} = s_i$$

$$\dot{v}_i = \frac{1}{\tau}(f_i^{in} - f_i^{out}) = \frac{1}{\tau}(f_i^{in} - v_i^{1/\alpha})$$

$$\dot{q}_i = \frac{1}{\tau}(f_i^{in} E_i / \rho - v_i^{1/\alpha} q_i / v_i)$$

BOLD-Signal (fMRT):

$$y_i = V_0(k_1(1 - q_i) + k_2(1 - q_i/v_i) + k_3(1 - v_i))$$

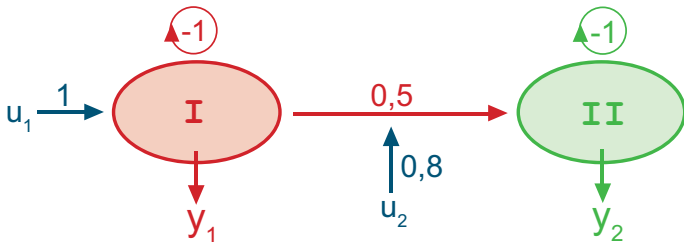
Euler-Verfahren

explizites Verfahren

Runge-Kutta-Verfahren (4. Ordnung)

Analyse der effektiven Konnektivität

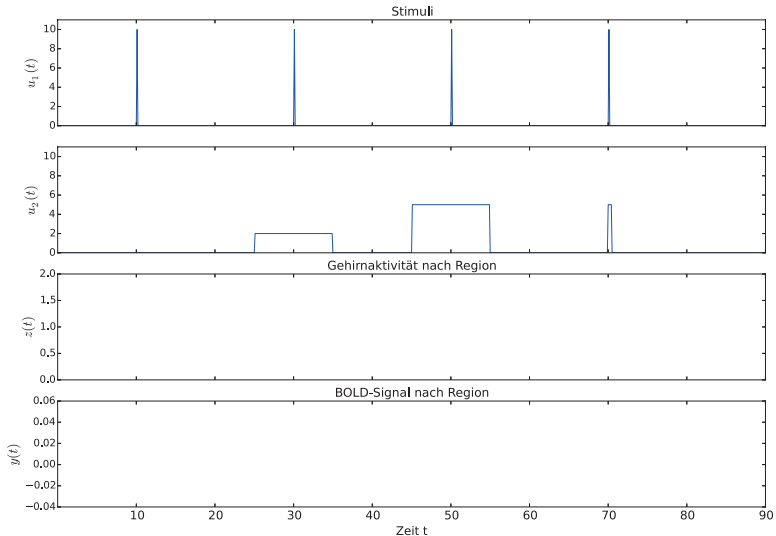
Simulation eines 2-Regionen-Systems



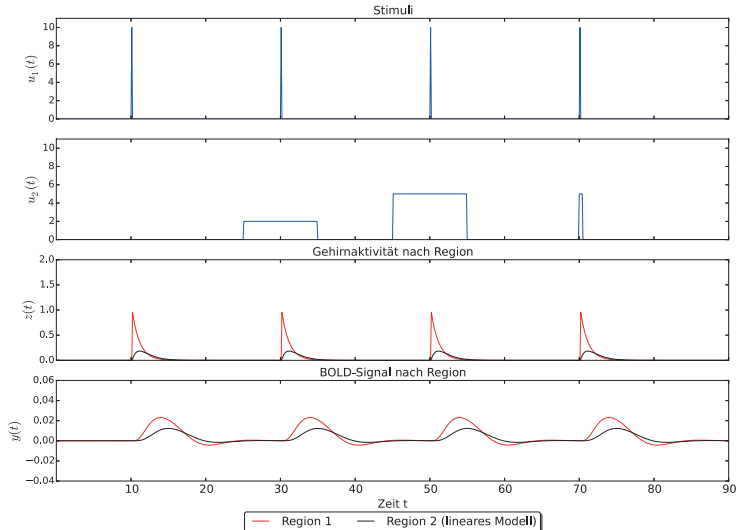
$$\dot{z} = \left(A + \sum_j u_j B^j \right) z + C u$$

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0.5 & -1 \end{pmatrix} \quad B_1 = 0 \quad B_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0.8 & 0 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

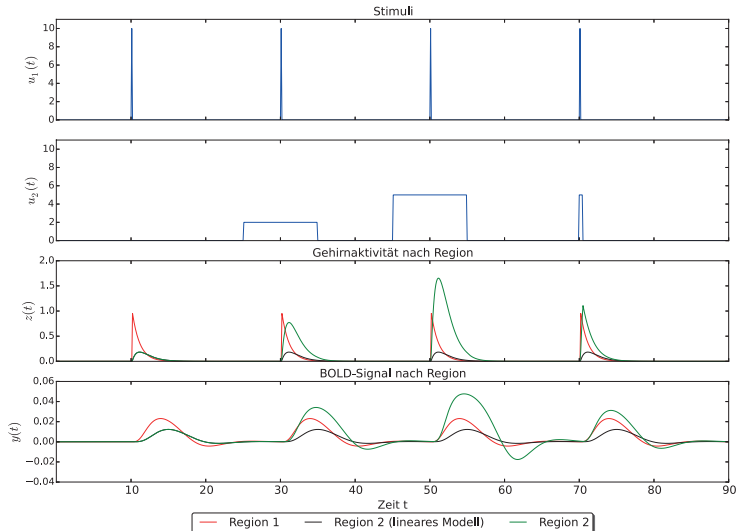
Simulation eines 2-Regionen-Systems



Simulation eines 2-Regionen-Systems



Simulation eines 2-Regionen-Systems



Literatur

- *Dynamic causal modelling*

K.J. Friston et al. / NeuroImage 0 (2003)

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

Designfeatures

Hervorhebungen

Wenn man Dinge hervorheben möchte nutzt man entweder **Fettdruck**, *kursive Schrift* oder das **Schlüsselwort alert**. Auch itemizeUmgebungen werden von der Stilvorlage überschrieben:

Designfeatures

Hervorhebungen

Wenn man Dinge hervorheben möchte nutzt man entweder **Fettdruck**, *kursive Schrift* oder das **Schlüsselwort älert**". Auch itemizeUmgebungen werden von der Stilvorlage überschrieben:

- ▶ So wird sichergestellt,
- ▶ dass alle Elemente der Präsentation
- ▶ dieselbe Farbe nutzen.

Achtung!

Hier kommt Rot ins Spiel!

Beispiel

Hier kommt Grün ins Spiel!