



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 ]]) # Zusammenfassen der ind. Kopplung in ei

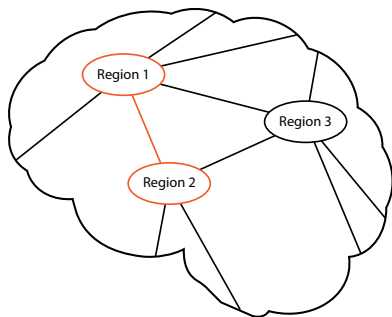
C = np.array([B1, B2]) # äußerer Einfluss auf Hirnaktivität

# 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 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]

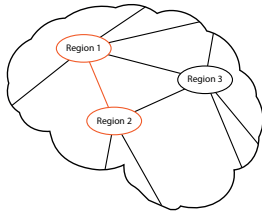
## Ziel

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

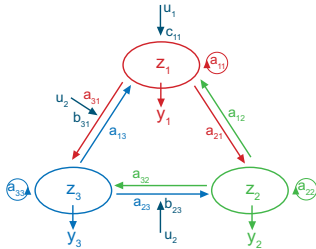
Inputs	Outputs
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ direkten Input: Veränderung des neuronalen Zustands</li> <li>▶ latenten Input: Veränderung der Vernetzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ neuronale Aktivität in der Hirnregion</li> <li>▶ ...</li> </ul>

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

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

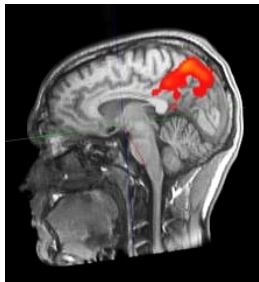
$$\dot{z} = (A + \sum_j u_j B^j)z + Cu$$

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

# Vergleichbarkeit

Bilineare Modell  $\Rightarrow$  Gehirnaktivitäten  $z_i(t)$

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):

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



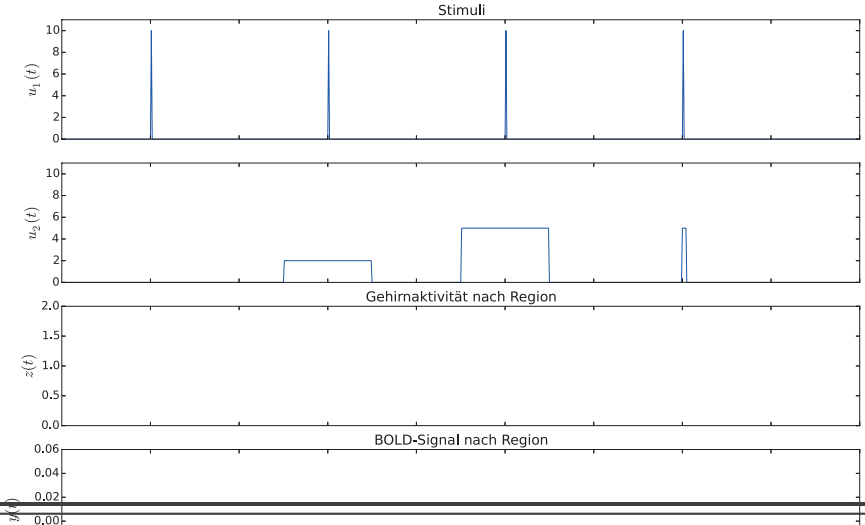
# Euler-Verfahren

explizites Verfahren

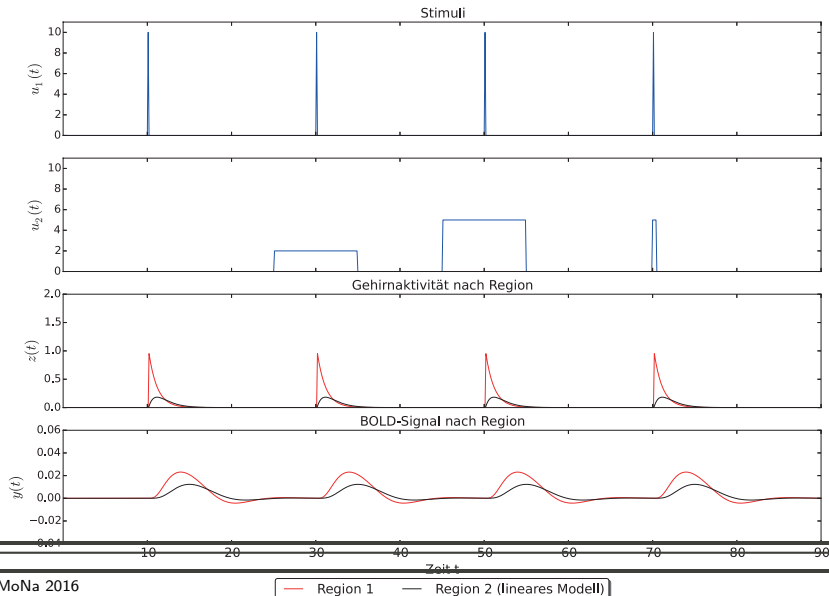
# Runge-Kutta-Verfahren (4. Ordnung)

Analyse der effektiven Konnektivität

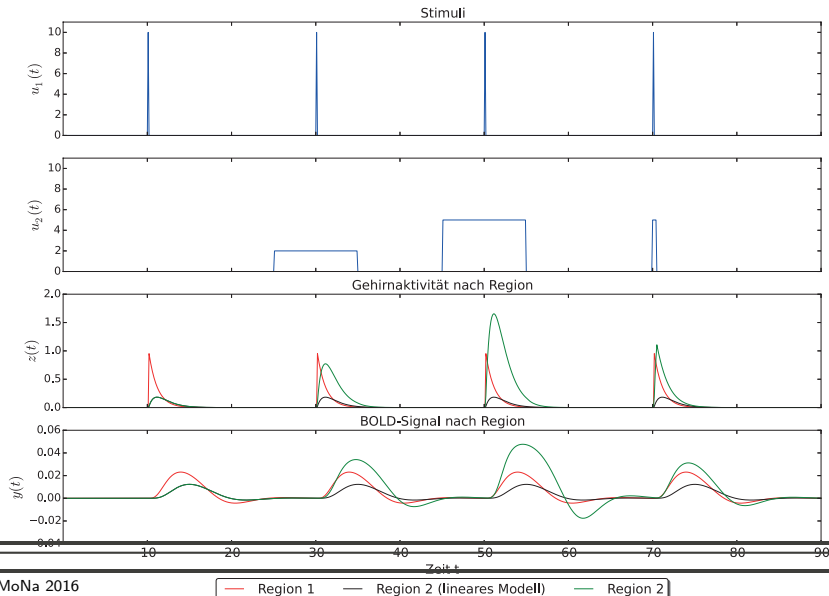
# Simulation eines 2 Regionen Systems



# 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](http://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 äler**". 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!