



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)

Theoretische Experimente

linear

bilinear

hemodynamisch

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

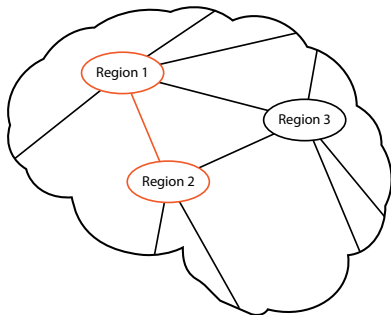
u = np.array([B1, B2]) # äußerer Einfluss auf Hirnaktivität

# Stimulus u1
u[1, 451:550] = 2.
# Stimulus u2
u[1, 251:350] = 5.
# Stimulus u2
u[1, 691:910] = 2.

# 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



Konnektivität im Gehirn  
Mathematische Modellierung von  
Interaktionen zwischen mehreren  
Regionen des Gehirns

Ziel: Austellen eines realistischen  
neuronalen Modells der  
interagierenden Gehirnregionen

Abbildung: Interaktion zwischen  
verschiedenen Hirnregionen.

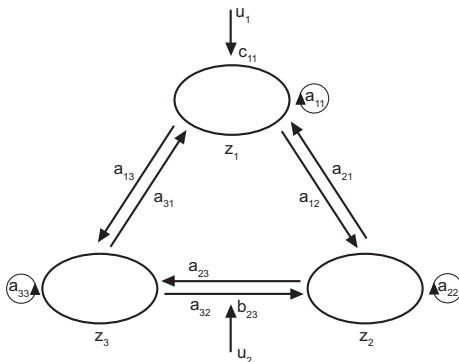
Rückschlüsse auf die Verschaltung von Hirnregionen zu ziehen und zu verstehen, wie diese von Veränderungen in der neuronalen Aktivität beeinflusst wird  
Äquivalent der DCM ist die FMRT ...

Messung der Veränderung vom Blutfluss - BOLD Signal

in diesem Fall ist DCM ein ...

# Bilineares Modell

Gehirn als nicht-lineares, deterministisches, dynamisches System



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

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

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \\ c_{31} & c_{32} \end{pmatrix}$$

# Vergleichbarkeit

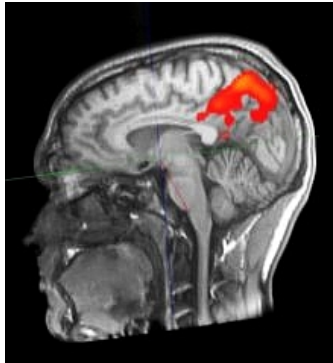
Bilineare Modell  $\Rightarrow$  Gehirnaktivitäten  $z_i(t)$



# 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

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

$v_i(t)$ : Venenvolumen

$q_i(t)$ : Desoxyhämoglobinkonzentration

Biophysikalisch:

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

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

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

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

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

# Numerisches Experiment - linear

Analyse der effektiven Konnektivität

# Numerisches Experiment - bilinear

Analyse der effektiven Konnektivität

# Numerisches Experiment - hemodynamisch

Analyse der effektiven Konnektivität

# 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 ährt**". 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!