Das GLM in der fMRT

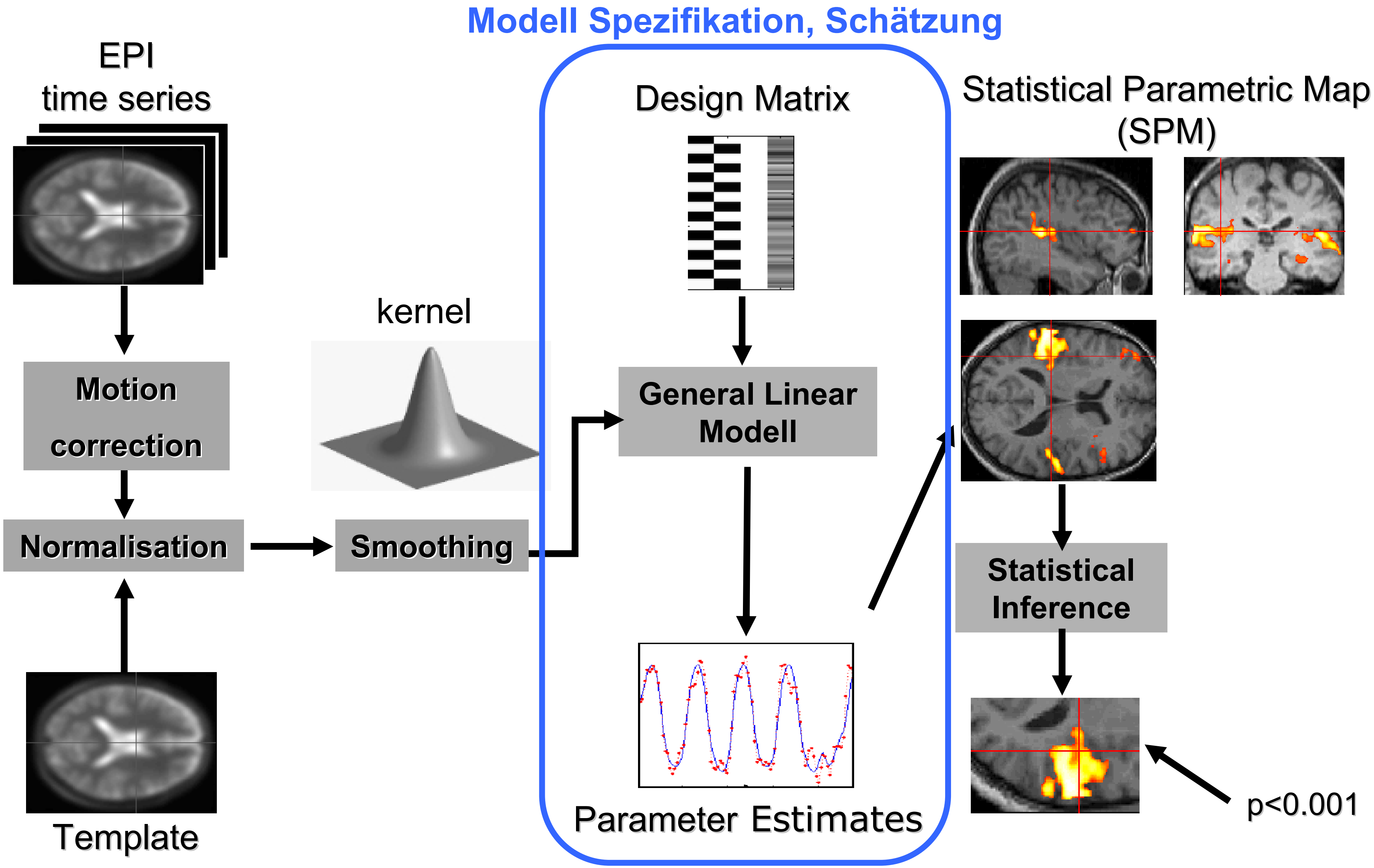
Spezifizierung. Schätzung. Visualisierung.

SPM-Kurs 2011

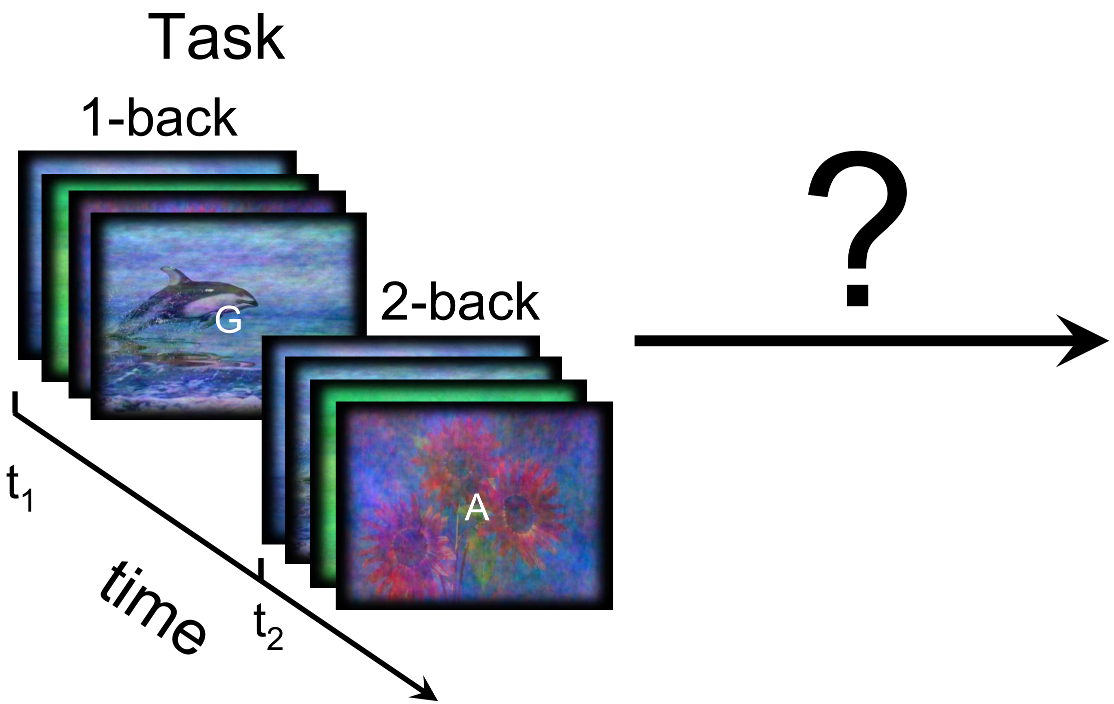
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

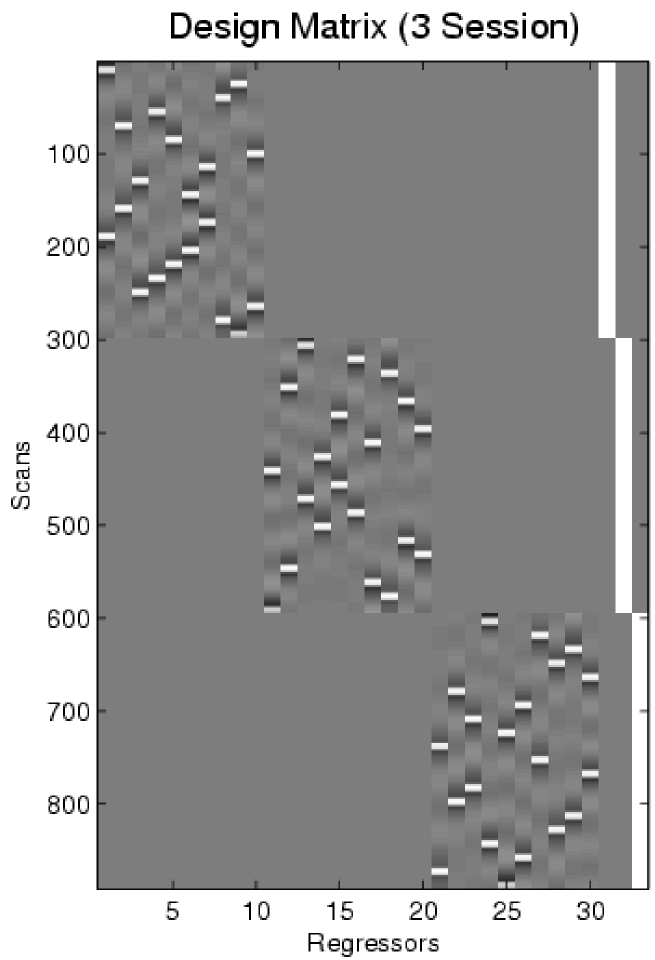
Catherine Hindi Attar

Überblick


Modell Spezifikation, Schätzung
EPI
time series
Motion
correction
Normalisation
Template
kernel
Smoothing
Design Matrix
General Linear
Modell
Parameter Estimates
Statistical Parametric Map
(SPM)
Statistical
Inference
p<0.001

Modellspezifizierung

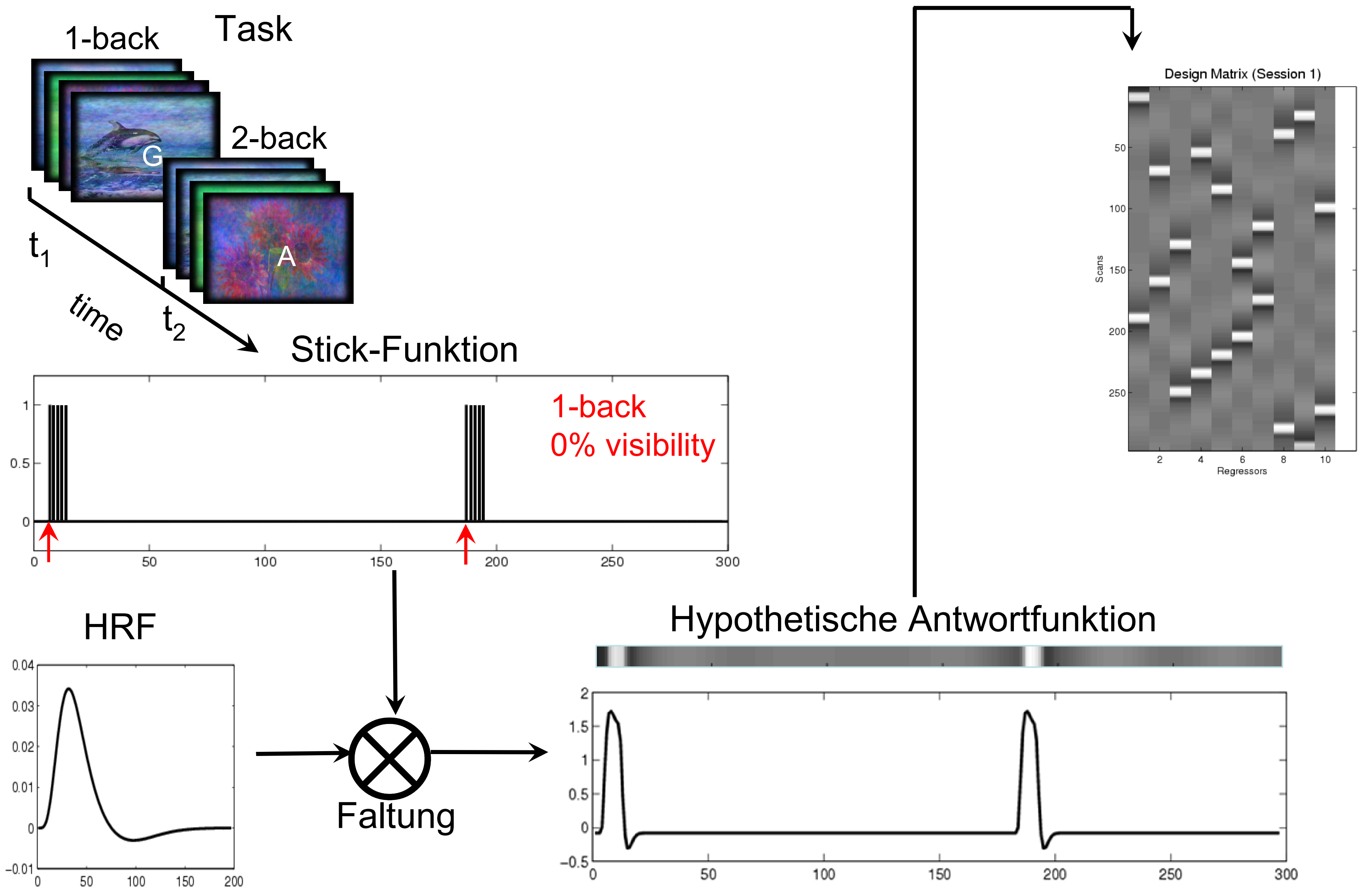




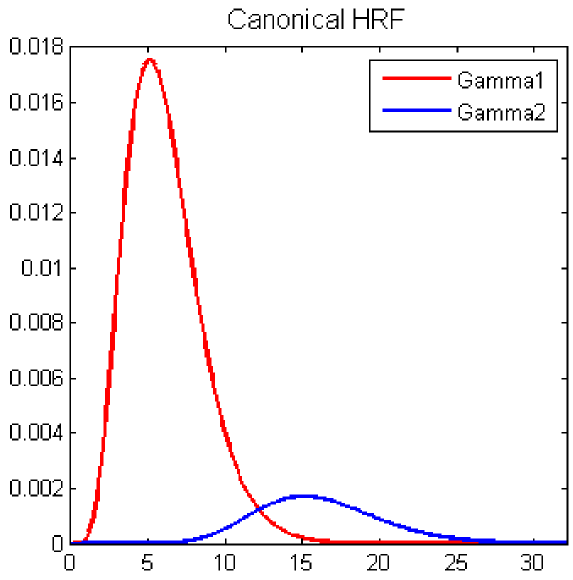
Notwendige Informationen

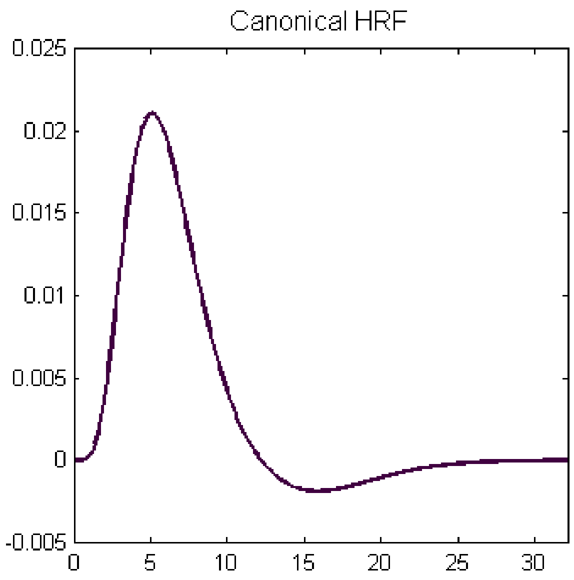
- Was wurde präsentiert (z.B., 1-back) ?
- Wie lange wurde es präsentiert (z.B., Blocklänge 10 s) ?
- Wann wurde es präsentiert (z.B., t_1) ?

Hypothetische Antwortfunktion



Kanonische Hämodynamische Antwortfunktion



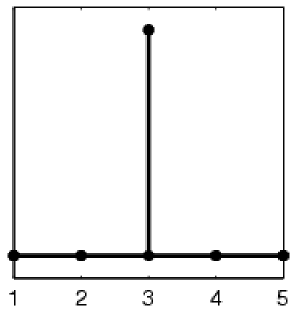


Form der HRF wird durch 7 Parameter beschrieben:

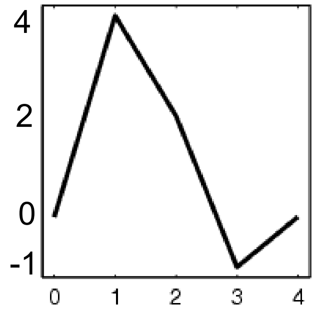
1. Delay of response (s) relative to Onset
2. Delay of undershoot (s) relative to onset
3. Dispersion of Response
4. Dispersion of Undershoot
5. Ratio of response to undershoot
6. Response onset (s)
7. Length of kernel (=Länge der HRF)

Faltung: 1 Event

Onsetvektor



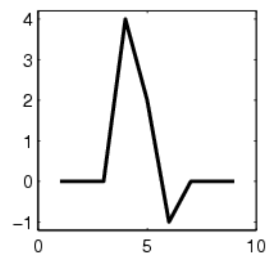
Einfache HRF



1. Punktweise Multiplikation aller Elemente des Onsetvektors mit der HRF unter Beibehaltung der seriellen Position im Onsetvektor
2. Summe dieser Multiplikation

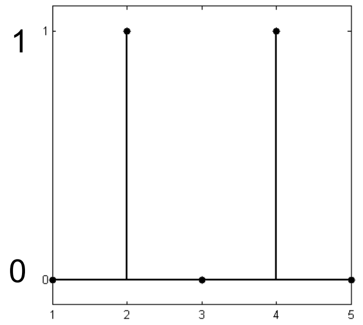
$$
\begin{array}{lcccccccccc}
0 \times [\,0 \;\; 4 \;\; 2 \;\; -1 \;\; 0\,] = [& 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & &] \\
\quad 0 \times [\,0 \;\; 4 \;\; 2 \;\; -1 \;\; 0\,] = [& & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & &] \\
\qquad 1 \times [\,0 \;\; 4 \;\; 2 \;\; -1 \;\; 0\,] = [& & & 0 & 4 & 2 & -1 & 0 & & &] \\
\qquad\quad 0 \times [\,0 \;\; 4 \;\; 2 \;\; -1 \;\; 0\,] = [& & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & &] \\
\qquad\qquad 0 \times [\,0 \;\; 4 \;\; 2 \;\; -1 \;\; 0\,] = [& & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 &] \\
\hline
[& 0 & 0 & 0 & 4 & 2 & -1 & 0 & 0 & 0 &]
\end{array}
$$

gefalteter Onsetvektor (Regressor)

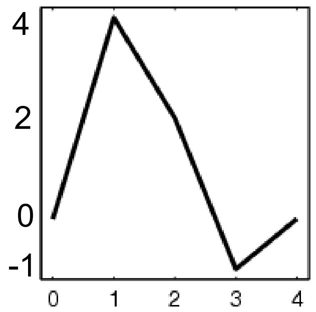


Faltung: 2 Events

Onsetvektor

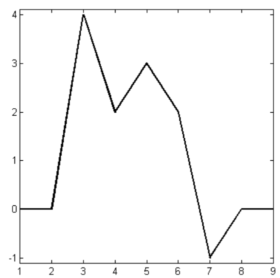


Einfache HRF



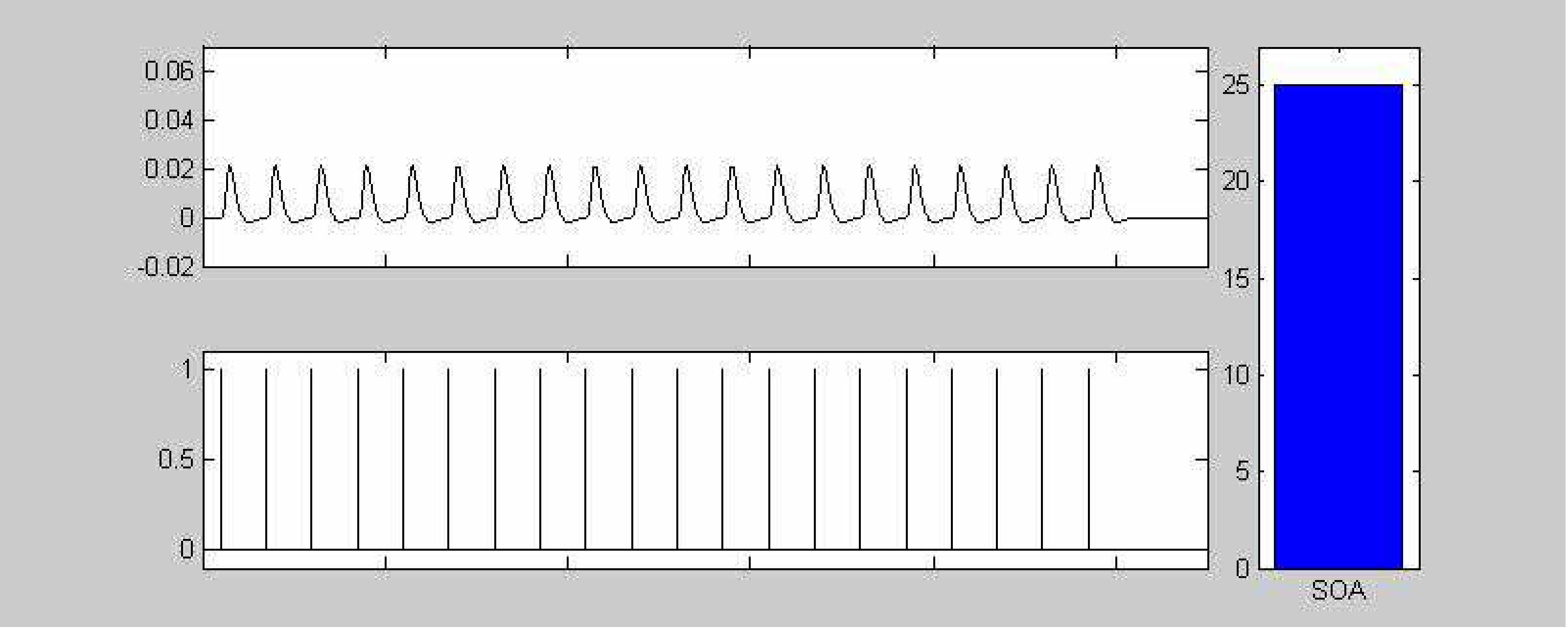
$$\begin{array}{ccccclcccccccccc}
0 &&&&& \times[\,0\;\;4\;\;2\;\;-1\;\;0\,]= & [0 & 0 & 0 & 0 & 0 &&&& &] \\
& 1 &&&& \times[\,0\;\;4\;\;2\;\;-1\;\;0\,]= & [& 0 & 4 & 2 & -1 & 0 &&& &] \\
&& 0 &&& \times[\,0\;\;4\;\;2\;\;-1\;\;0\,]= & [&& 0 & 0 & 0 & 0 & 0 && &] \\
&&& 1 && \times[\,0\;\;4\;\;2\;\;-1\;\;0\,]= & [&&& 0 & 4 & 2 & -1 & 0 & &] \\
&&&& 0 & \times[\,0\;\;4\;\;2\;\;-1\;\;0\,]= & [&&&& 0 & 0 & 0 & 0 & 0 &] \\
\hline
&&&&&& [0 & 0 & 4 & 2 & 3 & 2 & -1 & 0 & 0 &]
\end{array}$$

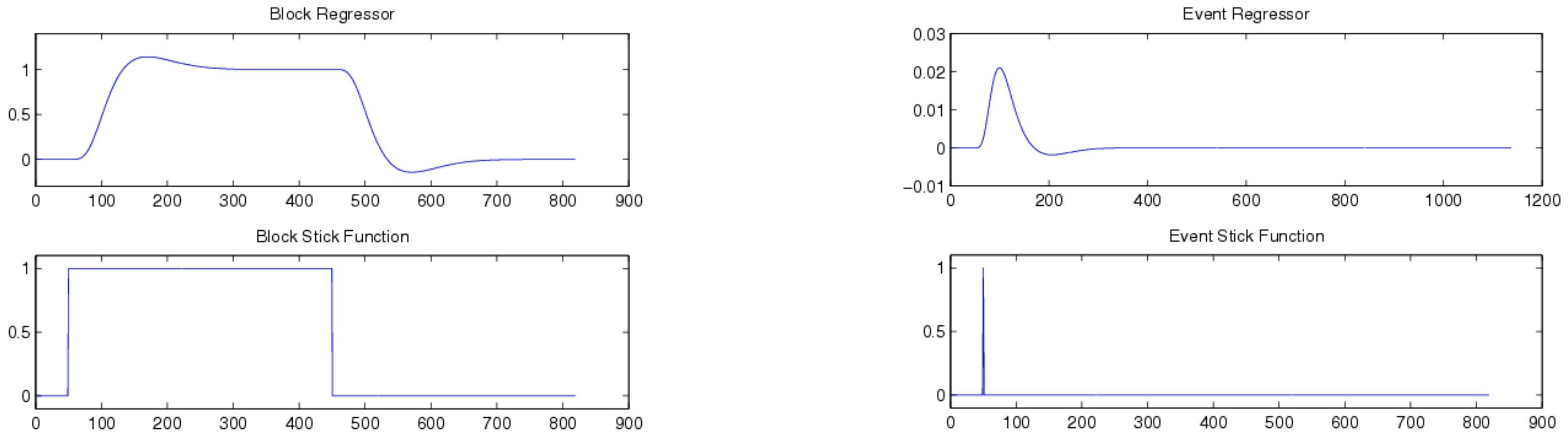
gefalteter Onsetvektor
(Regressor)



http://www.nmr.mgh.harvard.edu/~raj/fmri_matlab.html

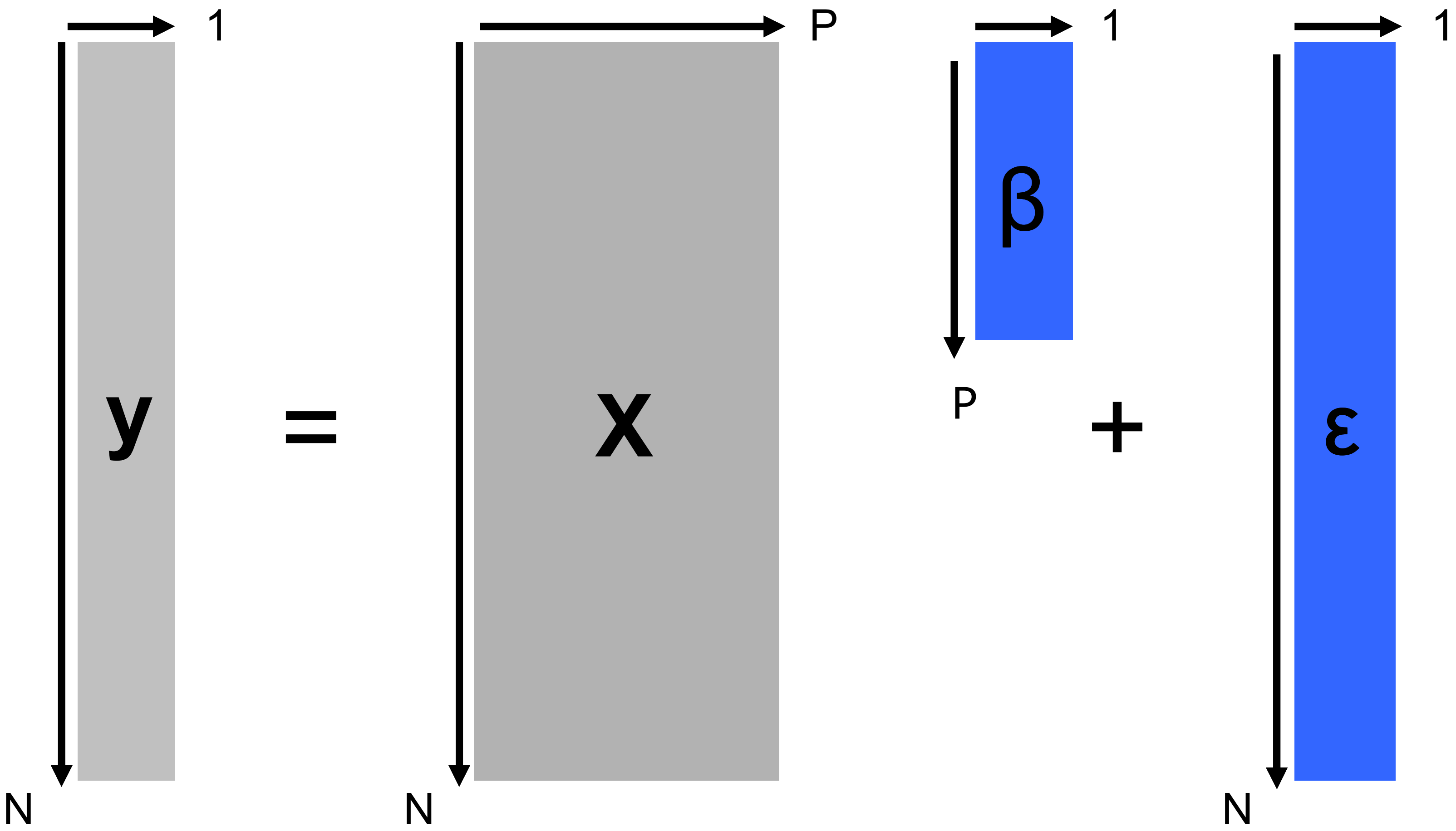
Faltung: viele Events





Das GLM

$$y = X\beta + \varepsilon$$



Beobachtete Daten = Prediktoren (UVs) * Parameter + Fehler

fMRT Voxelwert

Design Matrix

Wie viel jede UV zu den beobachteten Daten beiträgt

Restvarianz, nicht erklärt durch das Modell

Das GLM

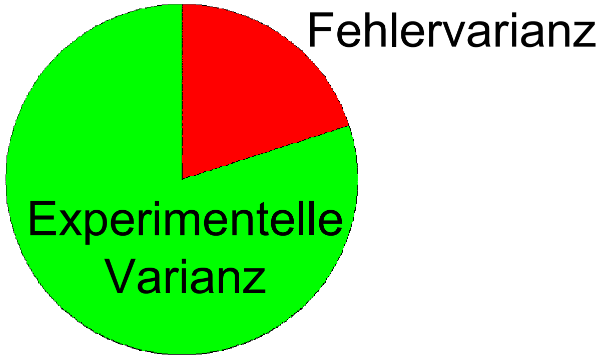
$$\mathbf{y} = \mathbf{x_1} {}^*\beta_1 + \mathbf{x_2} {}^*\beta_2 + \mathbf{x_3} {}^*\beta_3 + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Lineare Kombination von unabhängigen Variablen (UVs)

$$y_1 = x_{11}{}^*\beta_1 + x_{12}{}^*\beta_2 + x_{13}{}^*\beta_3 + \varepsilon_1$$

GLM in Matrizenform

$$y = X\beta + \varepsilon$$



Regressoren

Zeit

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Daten

Design Matrix (Modell)

Parameter

Fehler

Regressoren in der Design Matrix

Regressoren:
beitragende Komponenten in unserem Exp.,
welche wir modellieren können.

‚Regressors of interest‘
(oder ‚experimental regressors‘):

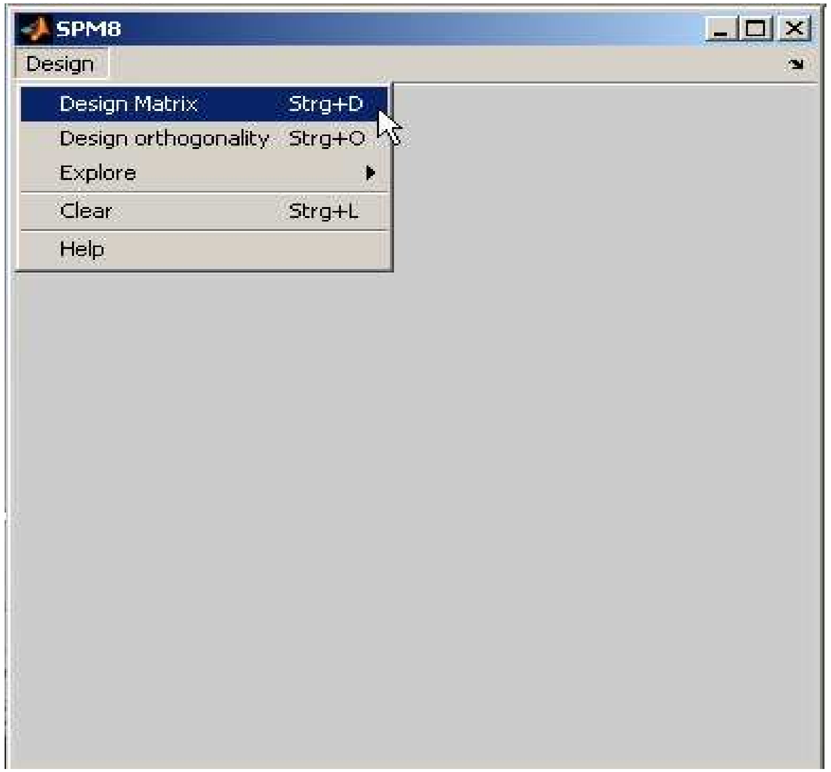
repräsentieren die Variablen (uVs), die wir intentional manipuliert haben.

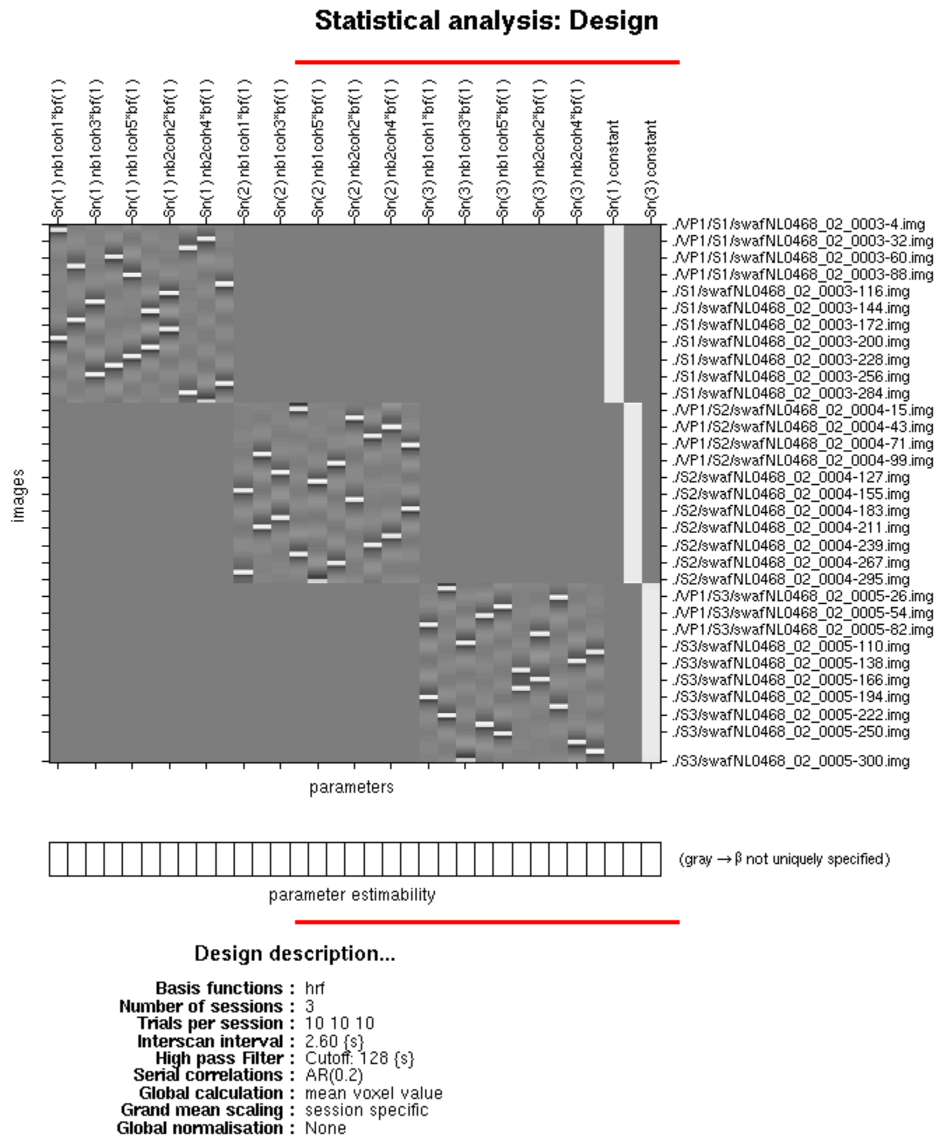
‚Regressors of no interest‘
(oder ‚nuisance regressors‘):

Variablen, die wir nicht manipuliert haben, die aber möglicherweise einen Einfluss auf die Daten haben (e.g. Bewegung, RTs, Herzrate).

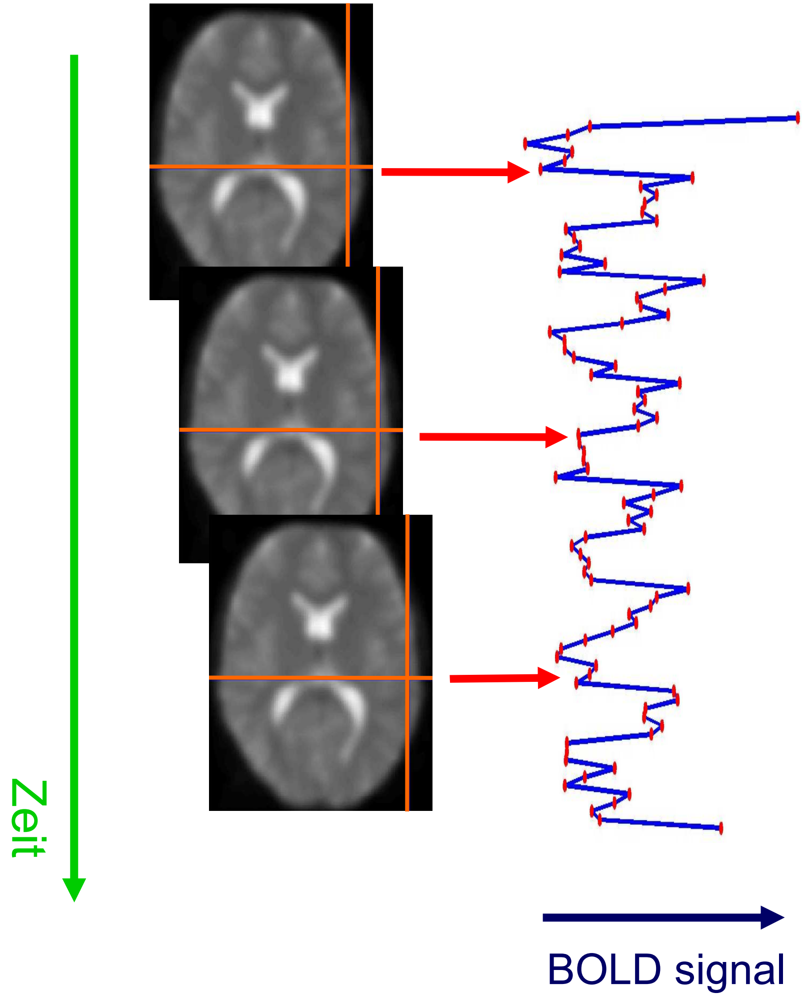
-> Verringerung des Fehlerterms!

Visualisierung der Designmatrix





Modellschätzung



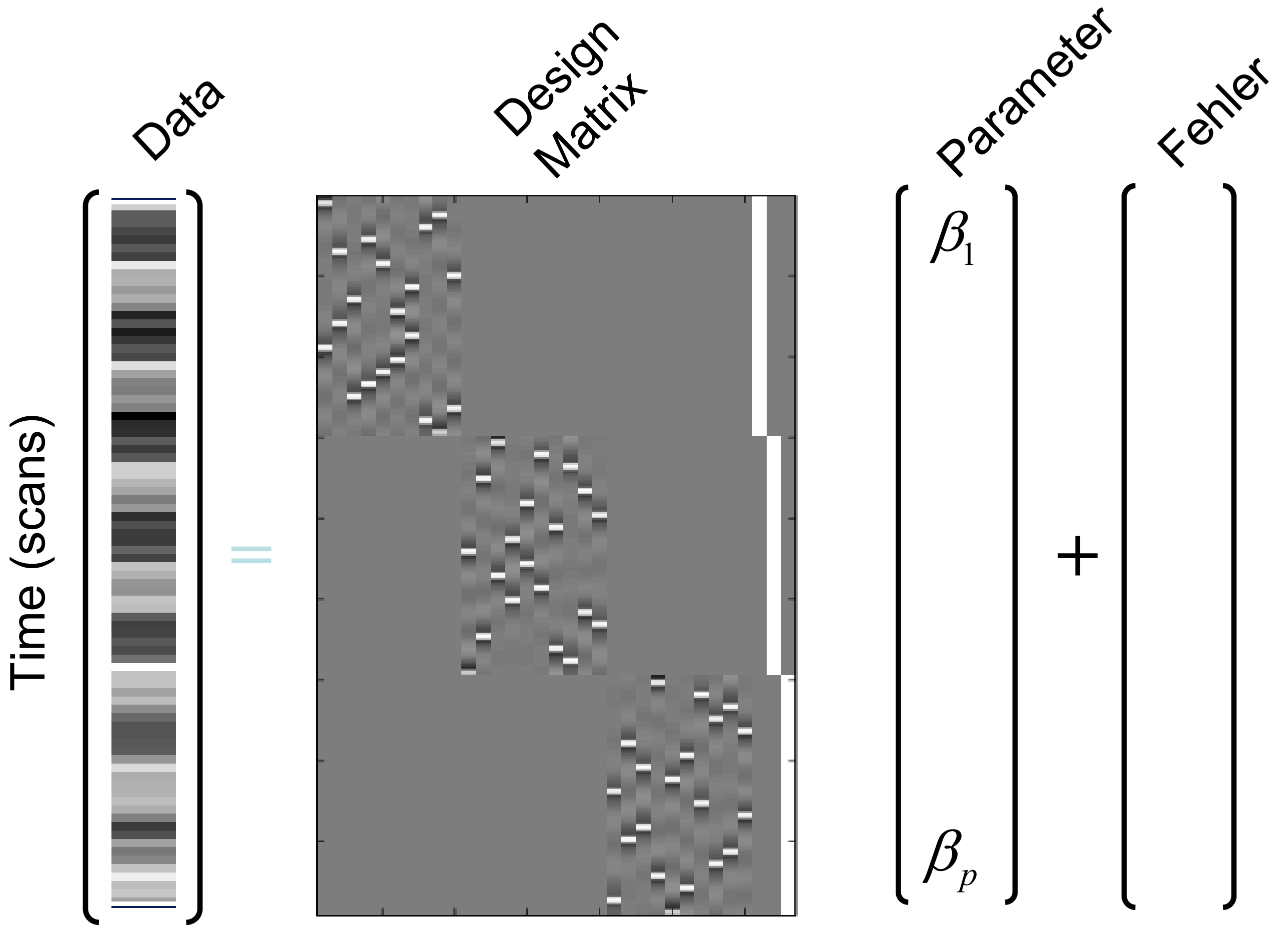
Voxel 1
57.84
57.58
57.14
55.15
55.90
55.67
58.14
55.82
55.10
58.65
56.89
55.69
…

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix} = \mathbf{y}$$

jedes Voxel wird *einzeln* geschätzt:

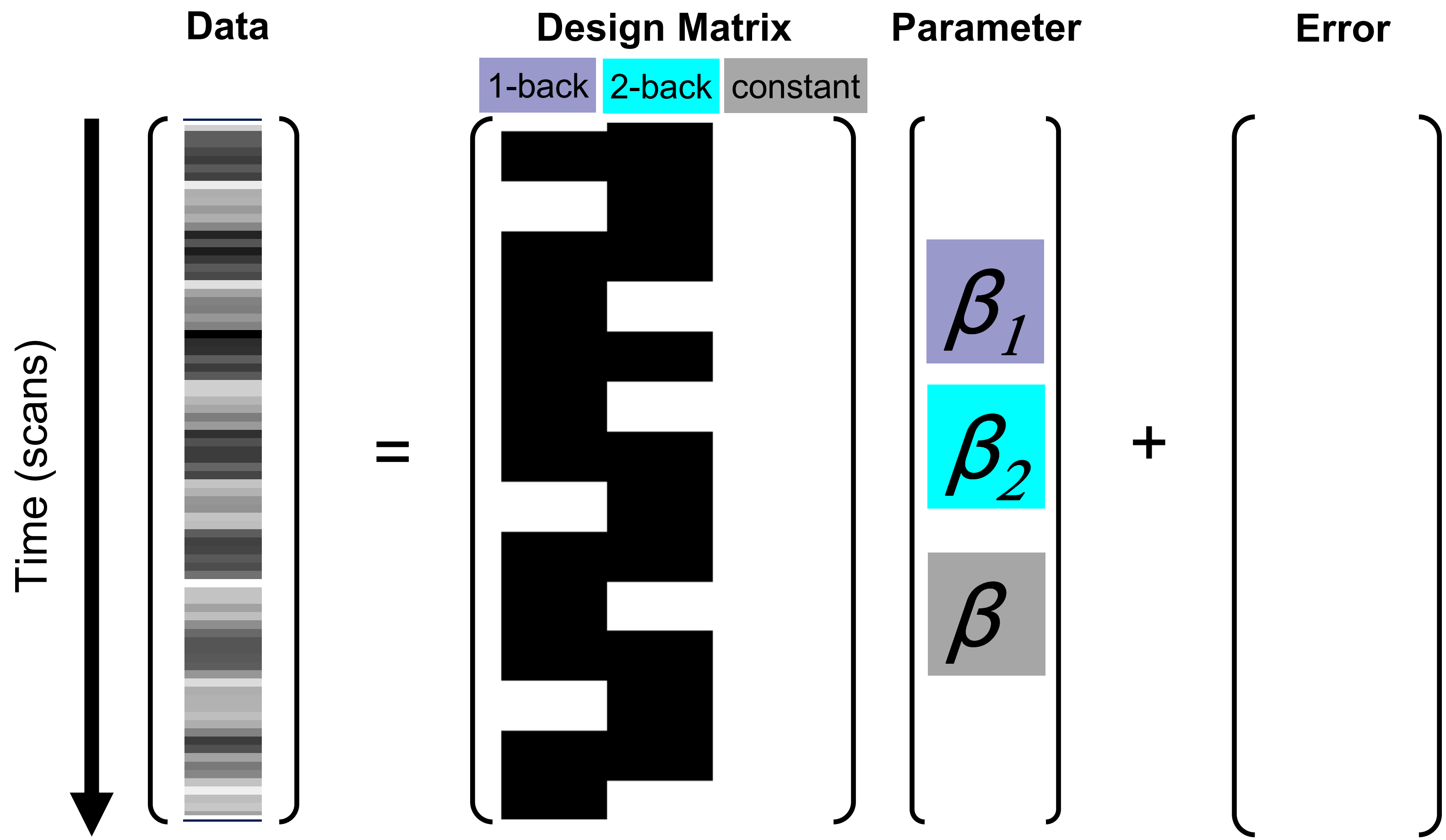
‘Mass Univariate Approach’

Modellschätzung



$$b = (X'X)^{-1} X'y$$

GLM mit drei Regressoren

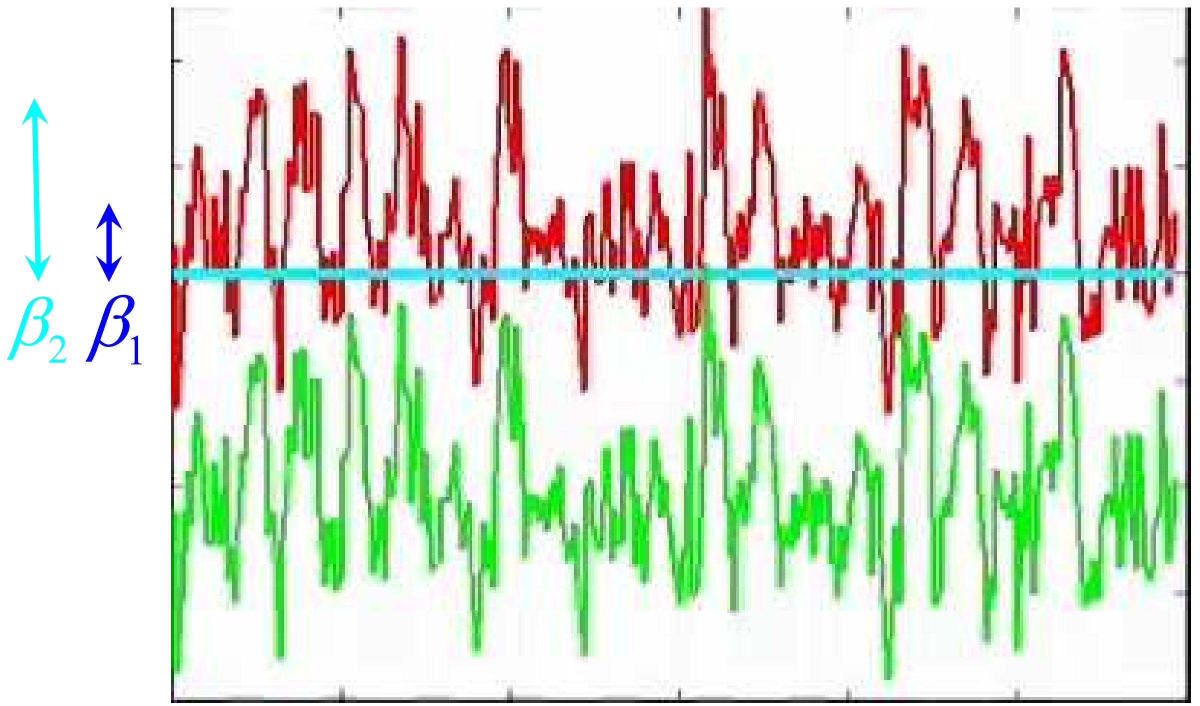


$$y = X \beta + \varepsilon$$

Parameterschätzung

GLM Modelgleichung

$$y = x_1\beta_1 + x_2\beta_2 + 1\beta_3$$



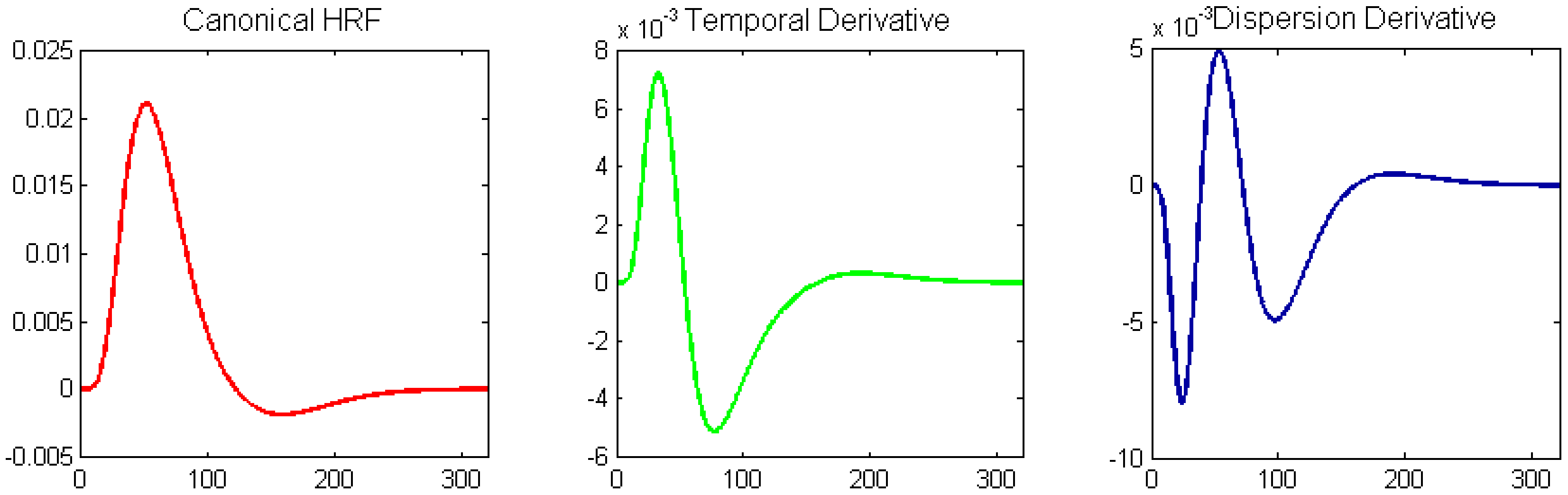
$$b = (X'X)^{-1}X'y$$

Größe des Parameters ist ein Schätzer für die Höhe der Aktivierung

- ® Amplituden- / Onset-regressor
- ® Statistik: Vergleich der Parameter (Betas)

Exkurs: mehrere Basisfunktionen

Frage: Ist das tatsächlich gemessene BOLD Signal immer konform mit dem Verlauf der kanonischen HRF?

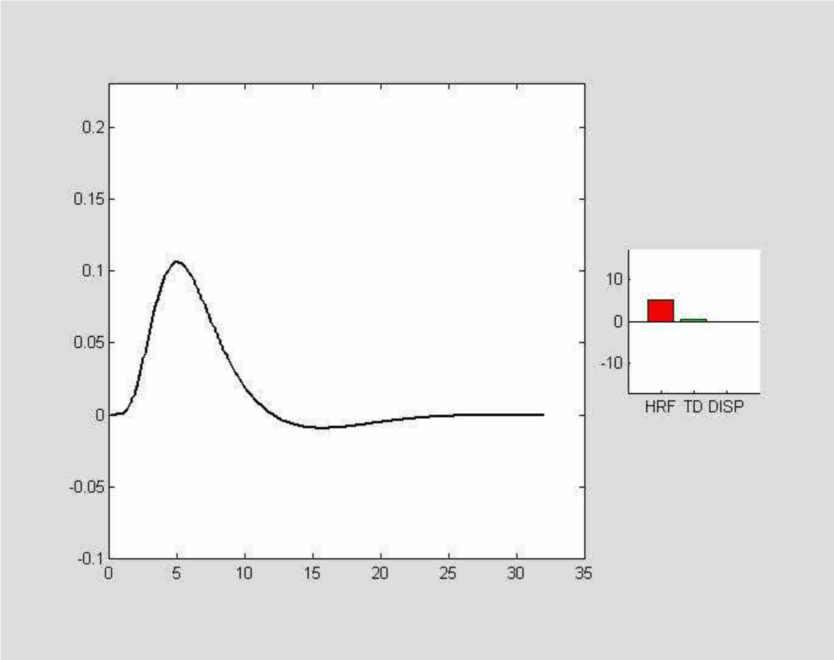


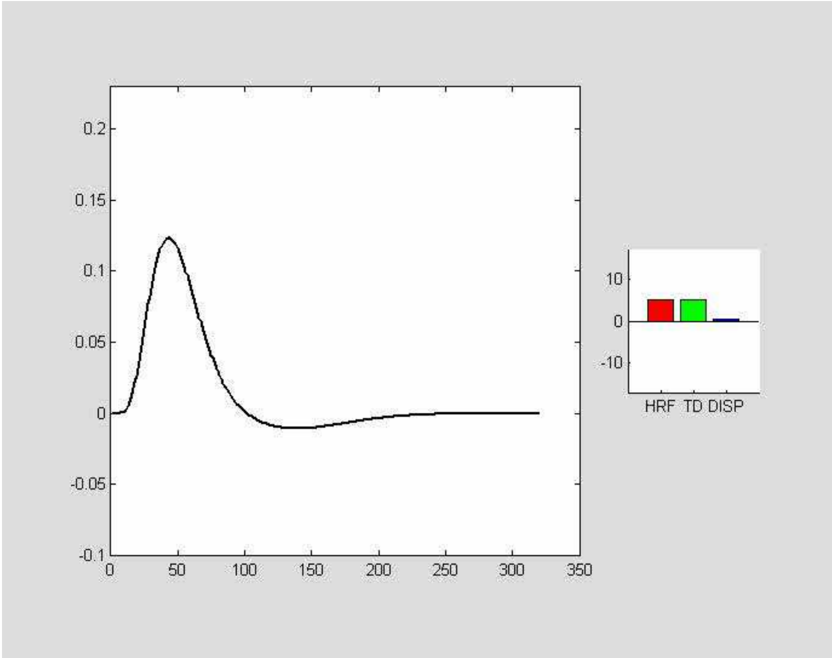
- Mehrere Basisfunktionen erlauben eine variablere und damit genauere Modellierung des Verlaufs des BOLD Signals
- Jede zusätzliche Basisfunktion erhält einen eigenen Regressor in der Designmatrix

Effekt von Ableitungen auf die Form der HRF

Temporal Derivative

Dispersion Derivative

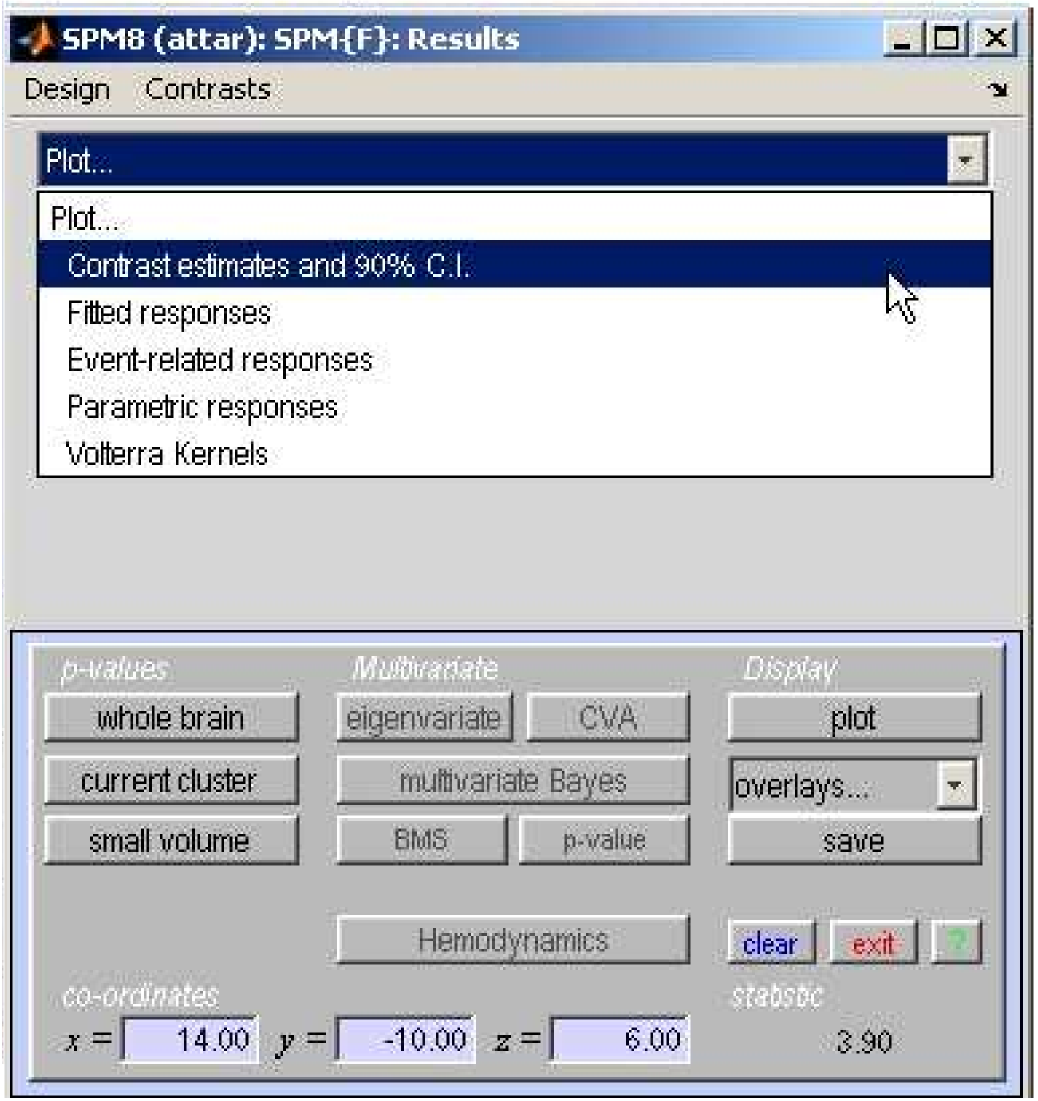




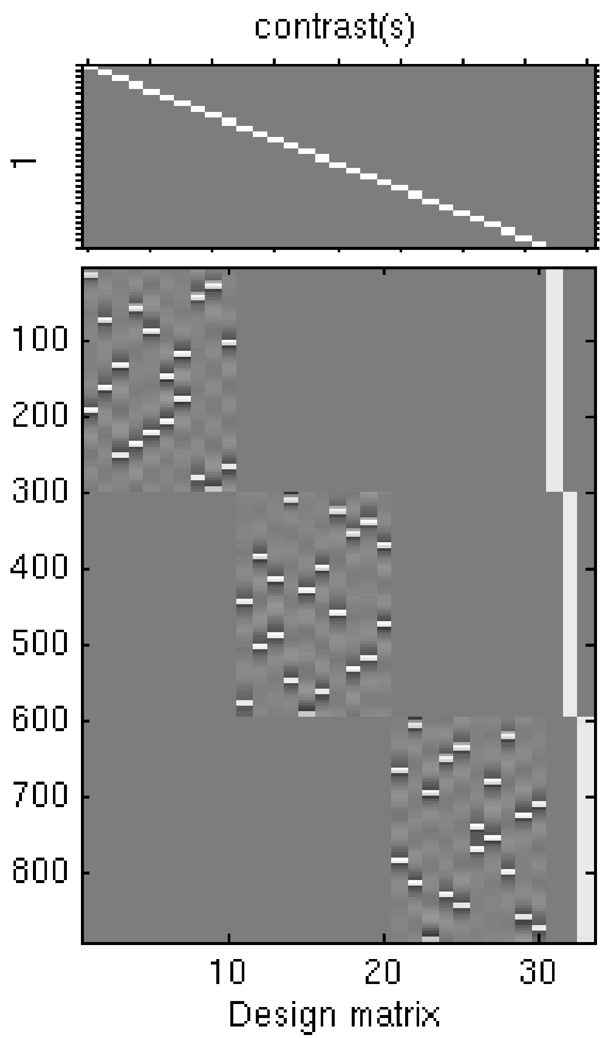
Temporal Derivative: Verschiebung des Peaks der HRF
Parameter **positiv**: früher, **negativ**: später

Dispersion Derivative: Veränderung der Breite der HRF
Parameter **positiv**: schlanker, **negativ**: breiter

Visualisierung der Parameter



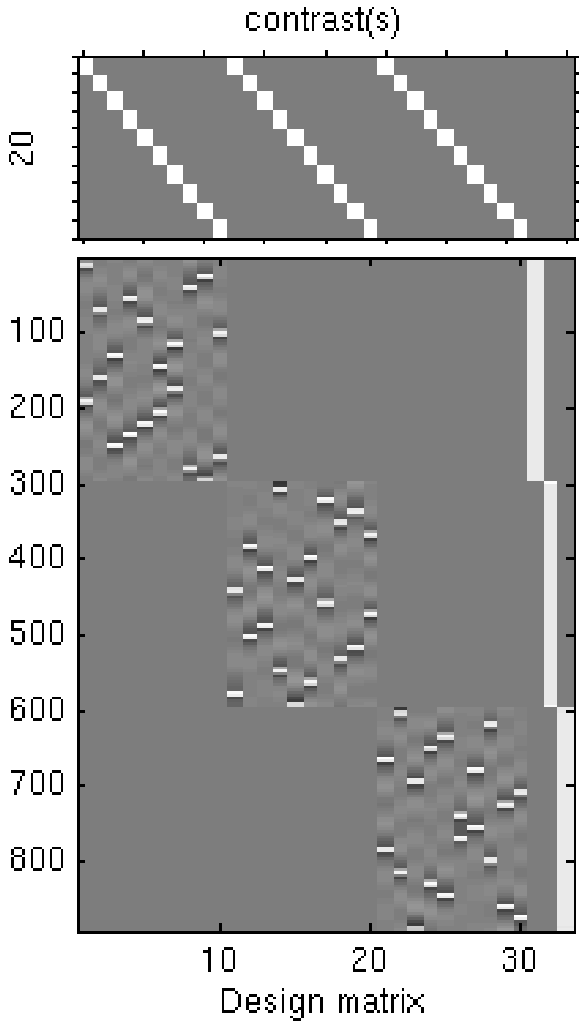
Contrast Estimate: Effects of interest (full model)



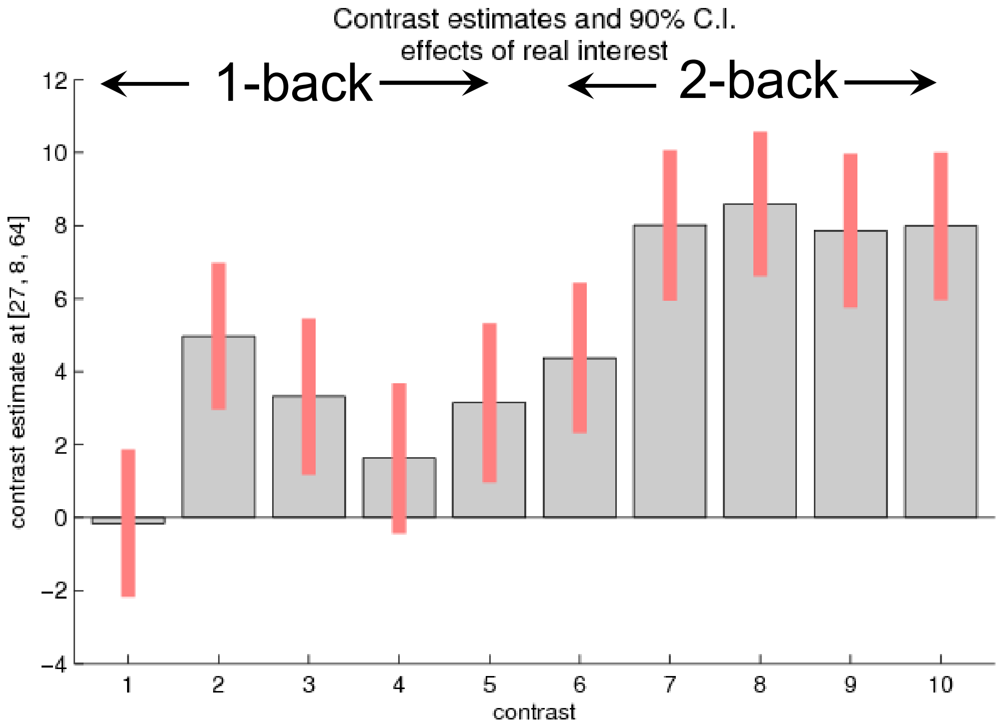
Superior Frontal Gyrus (27 8 64)

Effektstärke für jeden Regressor

Contrast Estimate: Effects of „real“ interest



Precuneus (2 -68 50)



Effektstärke jeder Bedingung
(über Sessions gemittelt)