Bachelorarbeit

Identifikation von Dämpfungsparametern

Betreuung: Florian Reiterer, M.Sc.
Dipl.Ing. Stephan Stadlbauer
Ing. Richard Fürhapter

Hintergrund

- dynamisches Fahrzeugverhalten in einer Simulationssoftware
- Modellparameter erforderlich
- Statische Tests an den Einzelkomponenten
- Dynamische Tests am Gesamtfahrzeug
  - zielführender als statische Tests
  - Bereits Identifikationsmethode mit Eigenfrequenzen und Methode des Model Updating vorhanden
  - noch keine Identifikation von Dämpfungsparametern möglich

Ziel der Arbeit

- Finden einer alternativen Identifikationsmethode, zur Ermittlung der Dämpfungsparameter aus dynamischen Tests am Gesamtfahrzeug

Grundidee

- Ermitteln der Sprungantwort des Fahrzeugs
- Bestimmen der Dämpfungsparameter durch Continuous Time System Identifikation (CT SysId) und Prediction Error Methode (PEM)

Aufgaben

- Einarbeitung in das Thema CT-SysId und PEM
- Erweiterung der Methode von H.Kirchsteiger auf ein MIMO-System
  - Implementierung in Matlab
  - Erprobung durch Verifikationsrechnungen
- Einarbeitung in das verwendete Halbfahrzeugmodell
- Vorstudie zu Versuchsaufbau/Messinstrumentierung in CarMaker
- Durchführung des Tests am Versuchsfahrzeug

Aufgaben

- Erweitern der Methode auf ein MIMO-System des Halbfahrzeugs
- Identifikation der Fahrzeugparameter
  - mit simulierten Daten (CarMaker)
  - mit realen Daten (dynaminscher Test)
- Rauschanalyse

Methode der CT-SysId

- System durch Transferfunktion im kontinuierlichen Zeitbereich beschrieben

$$Y(s)=\frac{B^{(1)}(s)}{A^{(1)}(s)}U_1(s)+\ldots+\frac{B^{(m)}(s)}{A^{(m)}(s)}U_m(s) \xrightarrow{*} \underline{y}(t)=\frac{B^{(1)}(p)}{A^{(1)}(p)}\underline{u}_1(t)+\ldots+\frac{B^{(m)}(p)}{A^{(m)}(p)}\underline{u}_m(t)$$

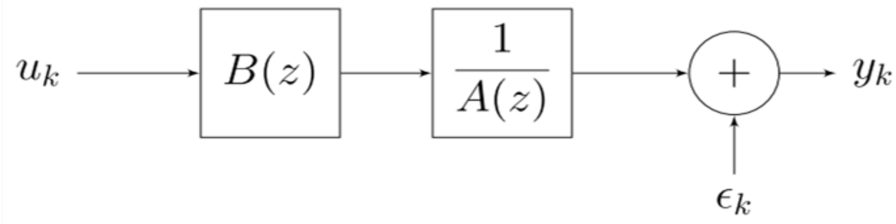
$$\text{mit}: \quad A^{(i)}(p)=1+a_1^{(i)}p+\ldots+a_n^{(i)}p^n$$

$$B^{(i)}(p)=b_0^{(i)}+b_1^{(i)}p+\ldots+b_n^{(i)}p^n$$

$$* \; s \equiv px(t)=\frac{dx(t)}{dt}$$

- Vorteil: Koeffizienten der Tf-Funktion = gesuchte Parameter
- Fehler zwischen tatsächlichem und geschätztem Ausgang möglich
- Identifikation der gesuchten Parameter über ein Fehlermodell

OE-Modell



- Allgemeine Form: $$\underline{y}_k = \frac{B(z)}{A(z)}\underline{u}_k + \underline{\varepsilon}_k$$
- Regressionsform: $$\underline{y}_k = \underline{\psi}_k^{\,T}\underline{\theta} + \underline{\varepsilon}_k$$

$$\underline{\psi}_k^{\,T} = \left[-y_{k-1}\ldots -y_{k-n_a}\ \ u_{k-n_k}\ldots u_{k-n_k-n_b+1}\ \ \varepsilon_{k-1}\ldots\varepsilon_{k-n_a}\right],\ \ \underline{\theta} = \left[a_1\ldots a_{n_a}\ \ b_{n_k}\ldots b_{n_k+n_b-1}\ \ a_1\ldots a_{n_a}\right]$$

  - Parametervektor $\underline{\theta}$ einhaltet Koeffizienten von A(z) , B(z)

- Fehler: $$\underline{\varepsilon} = \underline{y} - \underline{\hat{y}}$$
- Kostenfunktion: $$J_N(\underline{\theta}) = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\underline{\varepsilon}^2(k,\underline{\theta})$$
- Ziel: Parametervektor $\underline{\hat{\theta}}$ soll die Kostenfunktion minimieren

→ Prediction Error Methode

$$\boxed{\underline{\hat{\Theta}}^{(j+1)} = \underline{\hat{\Theta}}^{(j)} - \alpha^{(j)}\left[\boldsymbol{R}_N^{(j)}\right]^{-1}\boldsymbol{J}_N^{\prime}(\underline{\hat{\Theta}}^{(j)})}$$

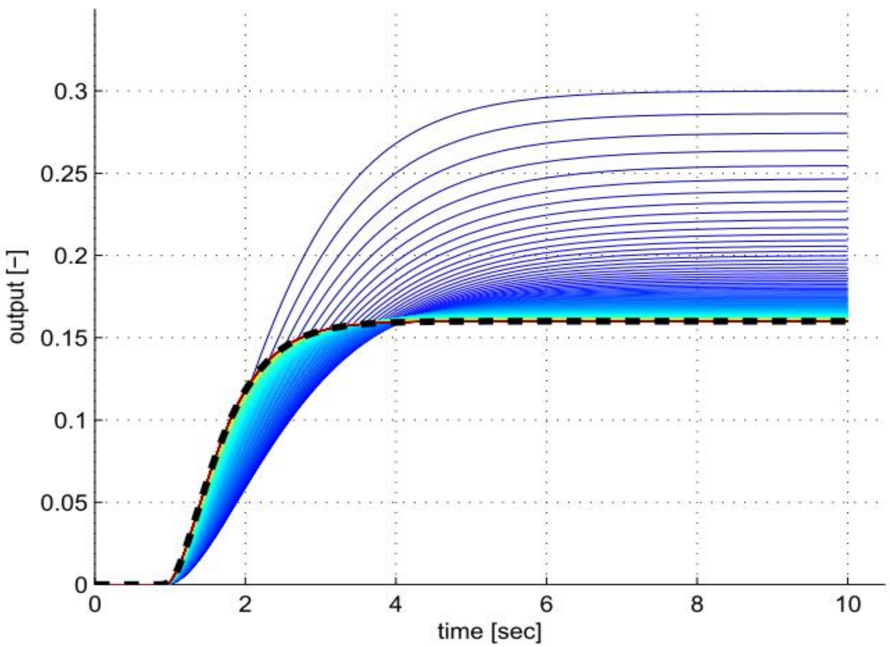
SISO-System

$$\underline{y}(t) = \frac{K_1}{(1+pT_1)^2\, p}\,\underline{u}(t)$$

Parameter: $K_1 = 1.6$ $T_1 = 0.4$

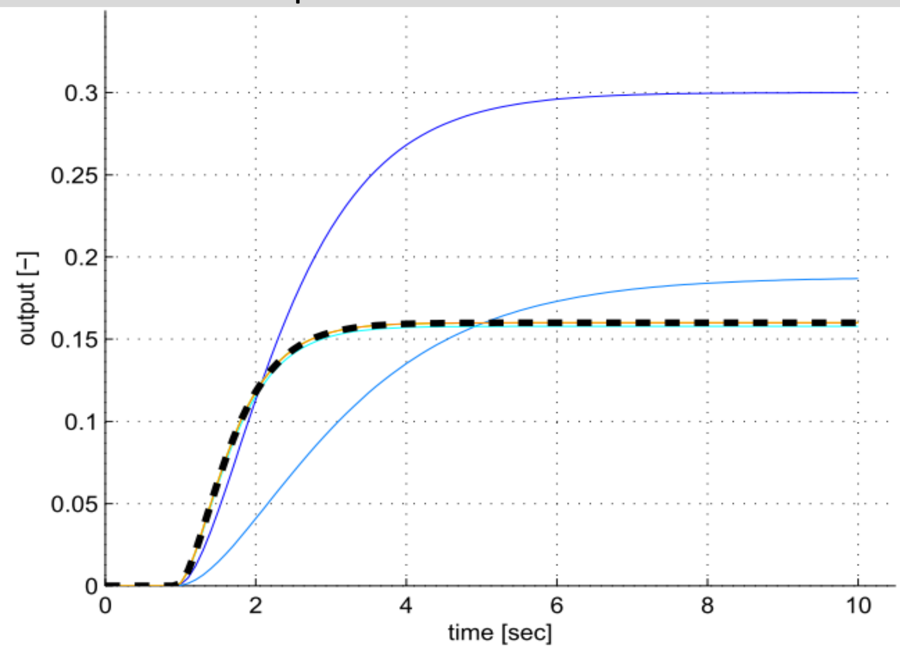
Startwerte: $K_{1,0} = 3.0$ $T_{1,0} = 0.8$

fixe Schrittweite $\alpha = 0.9$



$\hat{K}_1 = 1.6000$, $\hat{T}_1 = 0.4001$, $\varepsilon = 0.00009$, $j = 169$

optimierte Schrittweite



$\hat{K}_1 = 1.5999$, $\hat{T}_1 = 0.4000$, $\varepsilon = 0.00001$, $j = 7$

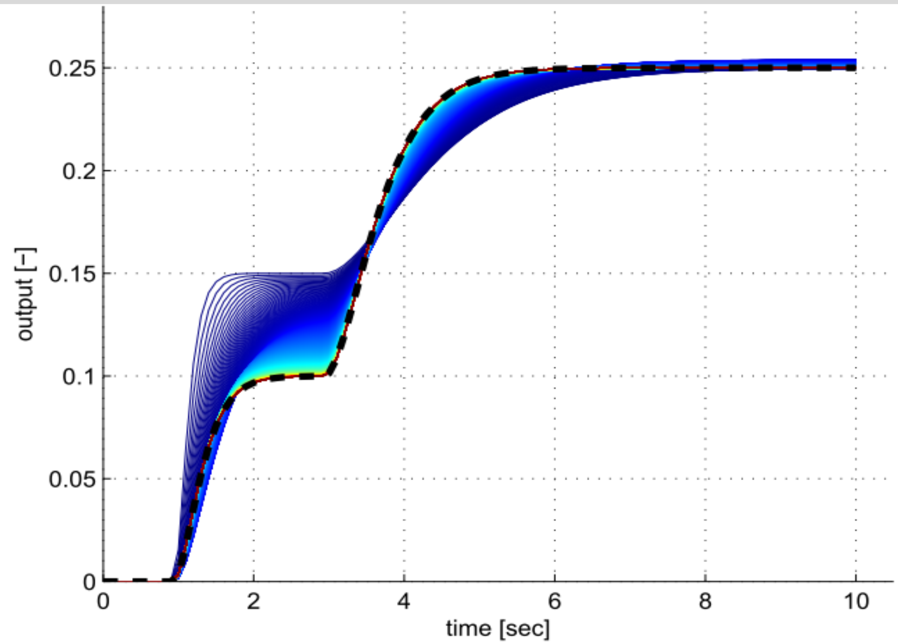
MISO-System

$$\underline{y}(t) = \frac{K_1}{(1+pT_1)^2\,p}\,\underline{u_1}(t) + \frac{K_2}{(1+pT_2)^2\,p}\,\underline{u_2}(t)$$

Parameter: $K_1 = 1.0$ $K_2 = 1.5$ $T_1 = 0.2$ $T_2 = 0.4$

Startwerte: $K_{1,0} = 1.5$ $K_{2,0} = 1.0$ $T_{1,0} = 0.1$ $T_{2,0} = 0.8$

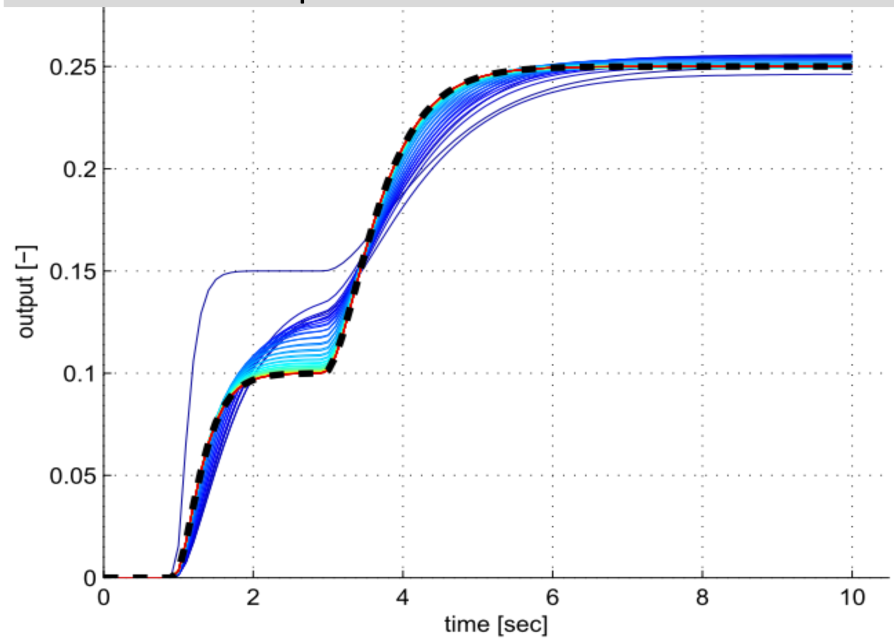
fixe Schrittweite $\alpha = 0.9$



$\hat{K}_1 = 1.0002$, $\hat{K}_1 = 1.4996$, $\hat{T}_1 = 0.2001$, $\hat{T}_1 = 0.4000$

$\varepsilon = 0.00009$, $j = 722$

optimierte Schrittweite



$\hat{K}_1 = 1.0002$, $\hat{K}_1 = 1.4997$, $\hat{T}_1 = 0.2000$, $\hat{T}_1 = 0.4000$

$\varepsilon = 0.00009$, $j = 62$

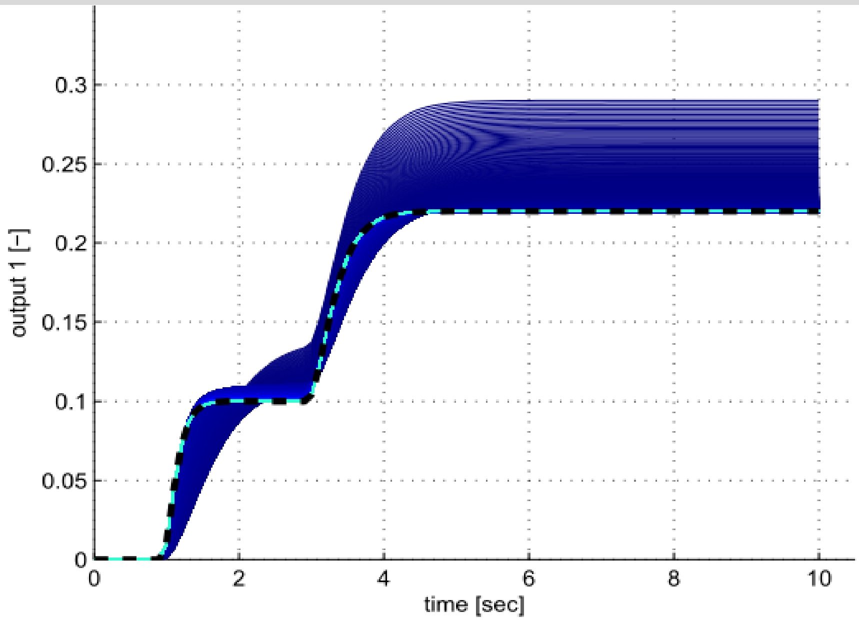
MIMO-System

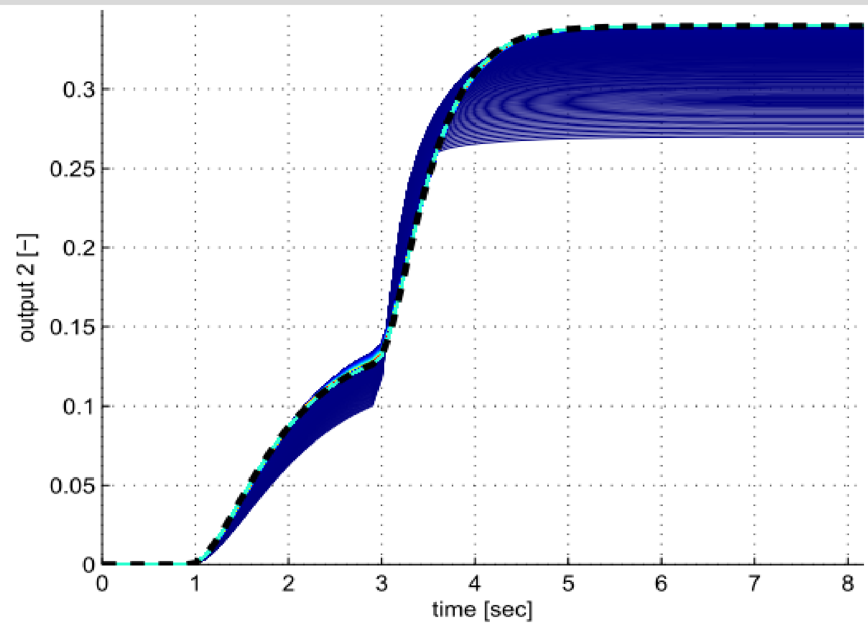
$$\begin{bmatrix} \underline{y}_1(t) \\ \underline{y}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K_1}{(1+pT_1)^2 p} & \frac{K_2}{(1+pT_2)^2 p} \\ \frac{K_3}{(1+pT_3)^2 p} & \frac{K_4}{(1+pT_4)^2 p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{u}_1(t) \\ \underline{u}_2(t) \end{bmatrix}$$

Parameter: K_1= 1.0 K_2= 1.2 K_3= 1.4 K_4= 2.0 T_1= 0.1 T_2= 0.2 T_3= 0.5 T_4 = 0.3

Startwerte: $K_{1,0}$= 1.4 $K_{2,0}$= 1.5 $K_{3,0}$= 1.2 $K_{4,0}$= 1.5 $T_{1,0}$= 0.4 $T_{2,0}$= 0.3 $T_{3,0}$= 0.6 $T_{4,0}$= 0.1

fixe Schrittweite α = 0.9





$\hat{K}_1 = 1.0000\,,\ \hat{K}_2 = 1.2000\,,\ \hat{K}_3 = 1.4006\,,\ \hat{K}_4 = 1.9993\,,\ \hat{T}_1 = 0.1000\,,\ \hat{T}_2 = 0.2000\,,\ \hat{T}_3 = 0.5002\,,\ \hat{T}_4 = 0.3006$

$\varepsilon = 0.0001\,,\ j = 21316$

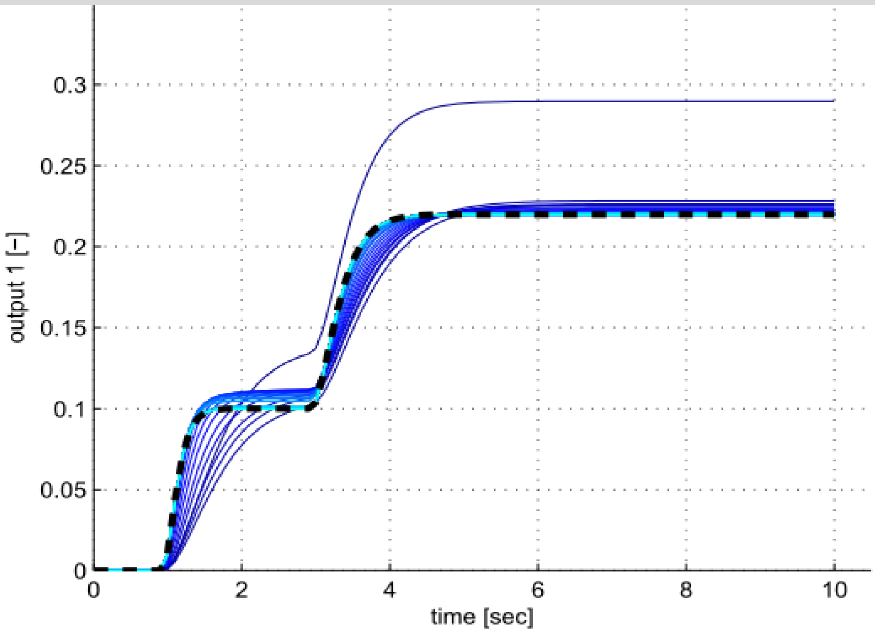
MIMO-System

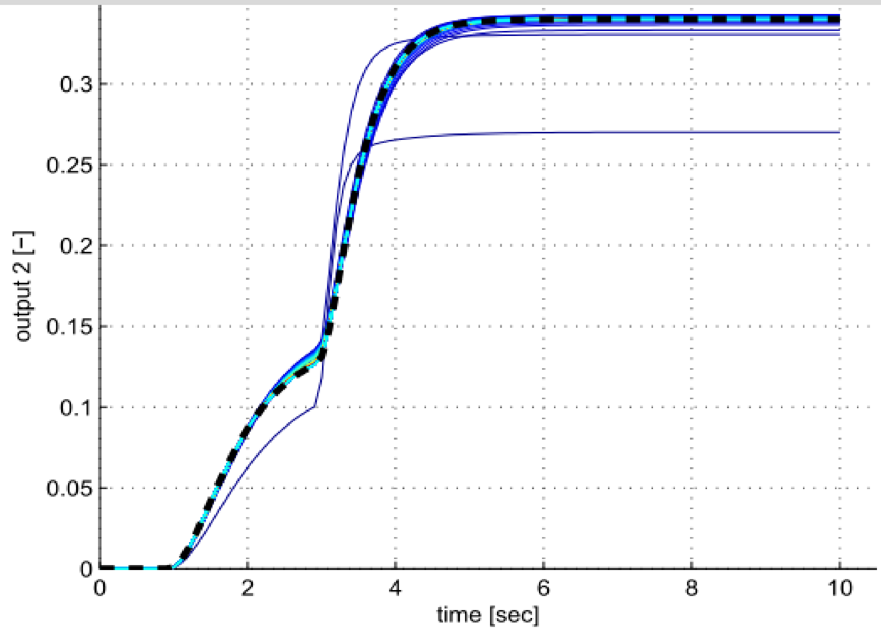
$$\begin{bmatrix} \underline{y}_1(t) \\ \underline{y}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{K_1}{(1+pT_1)^2 p} & \dfrac{K_2}{(1+pT_2)^2 p} \\ \dfrac{K_3}{(1+pT_3)^2 p} & \dfrac{K_4}{(1+pT_4)^2 p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{u}_1(t) \\ \underline{u}_2(t) \end{bmatrix}$$

Parameter: $K_1 = 1.0$ $K_2 = 1.2$ $K_3 = 1.4$ $K_4 = 2.0$ $T_1 = 0.1$ $T_2 = 0.2$ $T_3 = 0.5$ $T_4 = 0.3$

Startwerte: $K_{1,0} = 1.4$ $K_{2,0} = 1.5$ $K_{3,0} = 1.2$ $K_{4,0} = 1.5$ $T_{1,0} = 0.4$ $T_{2,0} = 0.3$ $T_{3,0} = 0.6$ $T_{4,0} = 0.1$

fixe Schrittweite $\alpha = 0.9$

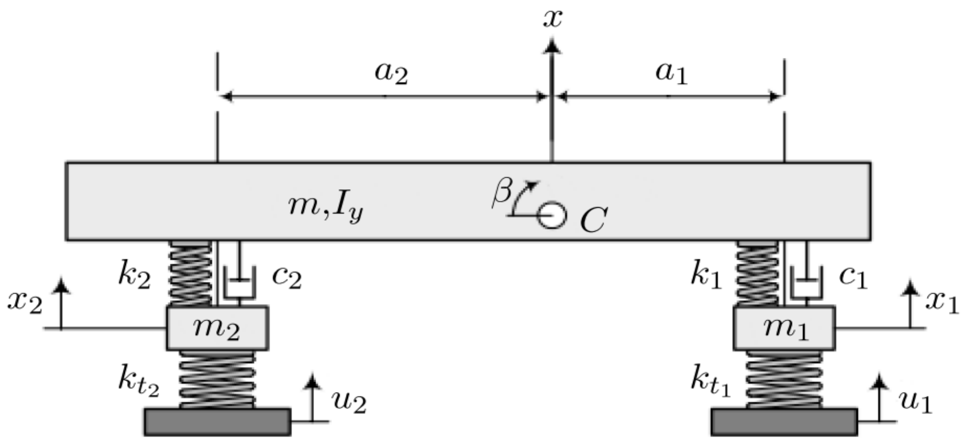




$$\hat{K}_1 = 1.0000\,,\ \hat{K}_2 = 1.2000\,,\ \hat{K}_3 = 1.4006\,,\ \hat{K}_4 = 1.9993\,,\ \hat{T}_1 = 0.1000\,,\ \hat{T}_2 = 0.2000\,,\ \hat{T}_3 = 0.5002\,,\ \hat{T}_4 = 0.3005$$

$$\varepsilon = 0.0001\,,\ j = 84$$

Modell eines Halbfahrzeugs



$$\boxed{\boldsymbol{M}\,\ddot{\underline{x}}(t)+\boldsymbol{C}\,\dot{\underline{x}}(t)+\boldsymbol{K}\,\underline{x}(t)=\underline{F}(t)}$$

- DGL-System 1.Ordnung
- Zustandsraumdarstellung
- Laplacebereich

$$\boxed{G(s)=\left(\boldsymbol{c}^{T}\left(s\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A}\right)^{-1}\boldsymbol{B}+\boldsymbol{D}\right)}$$

Zustandsvektor:	$\underline{x}(t)=\left[x \;\; \beta \;\; x_1 \;\; x_2\right]$
Massenmatrix:	$\boldsymbol{M}\in\Re^{4\text{x}4}$
Dämpfungsmatrix:	$\boldsymbol{C}\in\Re^{4\text{x}4}$
Federmatrix:	$\boldsymbol{K}\in\Re^{4\text{x}4}$
Kraftvektor:	$\underline{F}(t)\in\Re^{4\text{x}1}$

Matrizen der Zustandsraumdarstellung:

$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{0} & \boldsymbol{I}\\ -\boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{K} & -\boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{C}\end{bmatrix}\in\Re^{8\text{x}8}$$

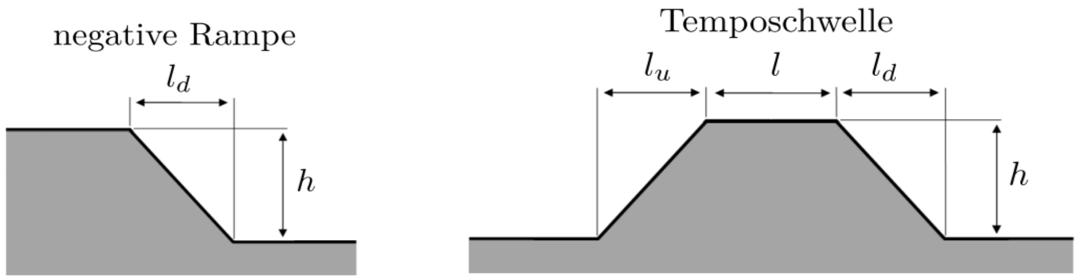
$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{B_2}\end{bmatrix}\in\Re^{8\text{x}8} \quad \text{mit } \boldsymbol{B_2}=\begin{bmatrix}k_{t1}/m_1 & 0\\ 0 & k_{t2}/m_2\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{c}^{T}=\left[\boldsymbol{I}\;\;\boldsymbol{0}\right]\in\Re^{4\text{x}8}$$

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{0}\in\Re^{4\text{x}2}$$

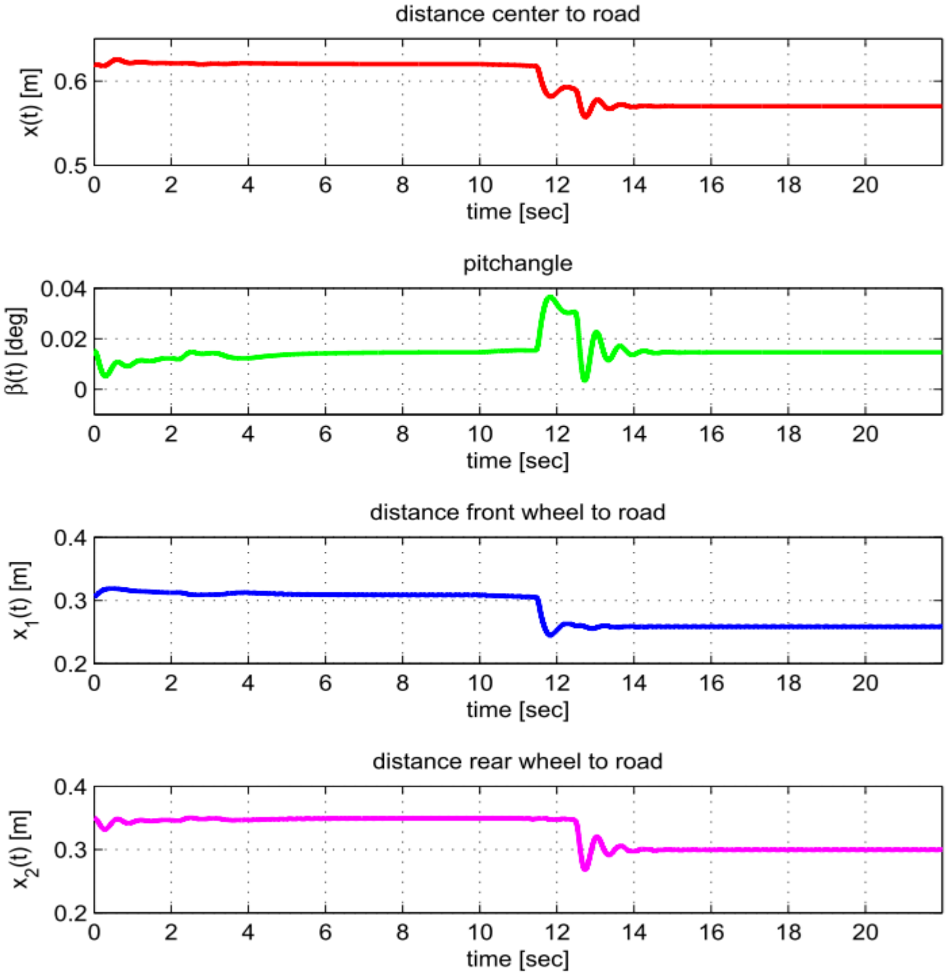
CarMaker

- Modell des BMW 320d–F31 verwendet
- Modellausgänge:
  - Abstand Schwerpunkt – Boden durch Bodysensor im Schwerpunkt
  - Nickwinkel direkt aus CarMaker-Modell
  - Abstände Radnaben – Boden durch Bodysensoren an den Radnaben
- Anregung mit weißem Rauschen ideal
- passende Anregung durch Tests ermittelt
  - Negative Rampe
  - Temposchwelle



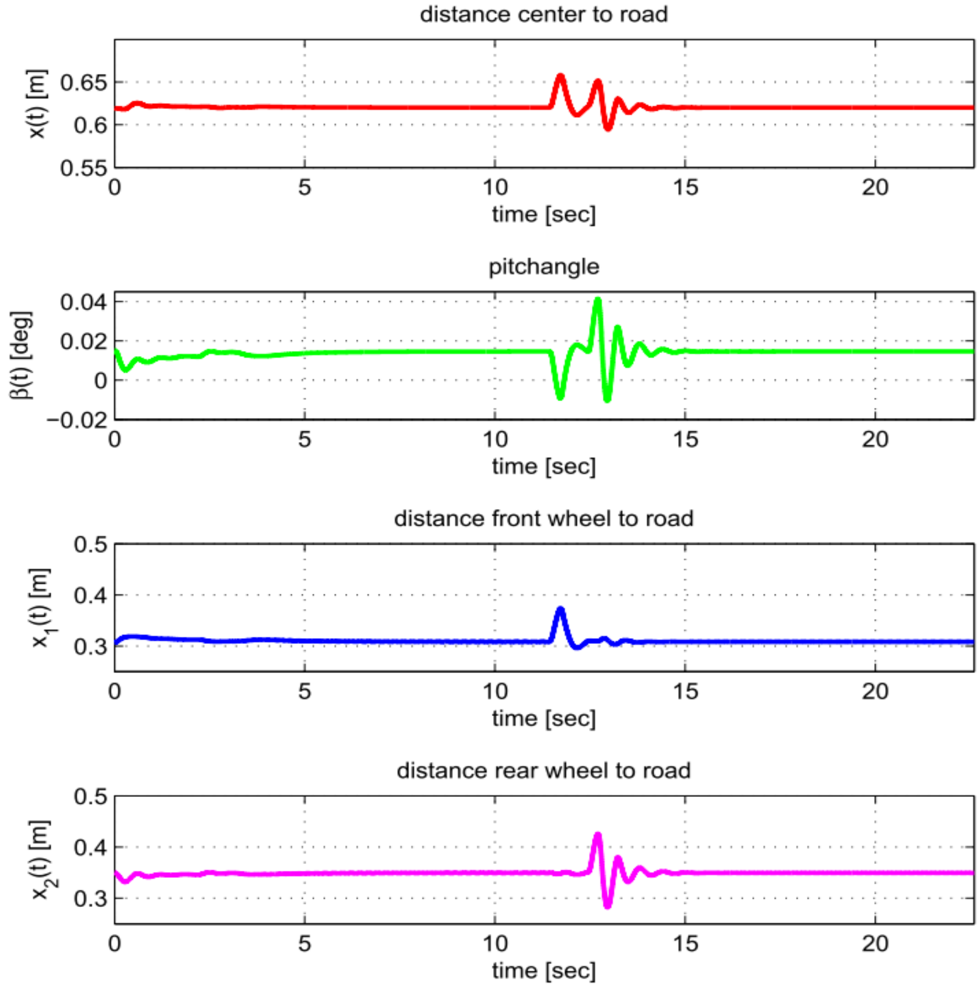
Rampe

Höhe: 5cm   Neigung: -20°   Tempo: 10km/h



Temposchwelle

Höhe: 5cm   Neigung: +/-20°   Tempo: 10km/h

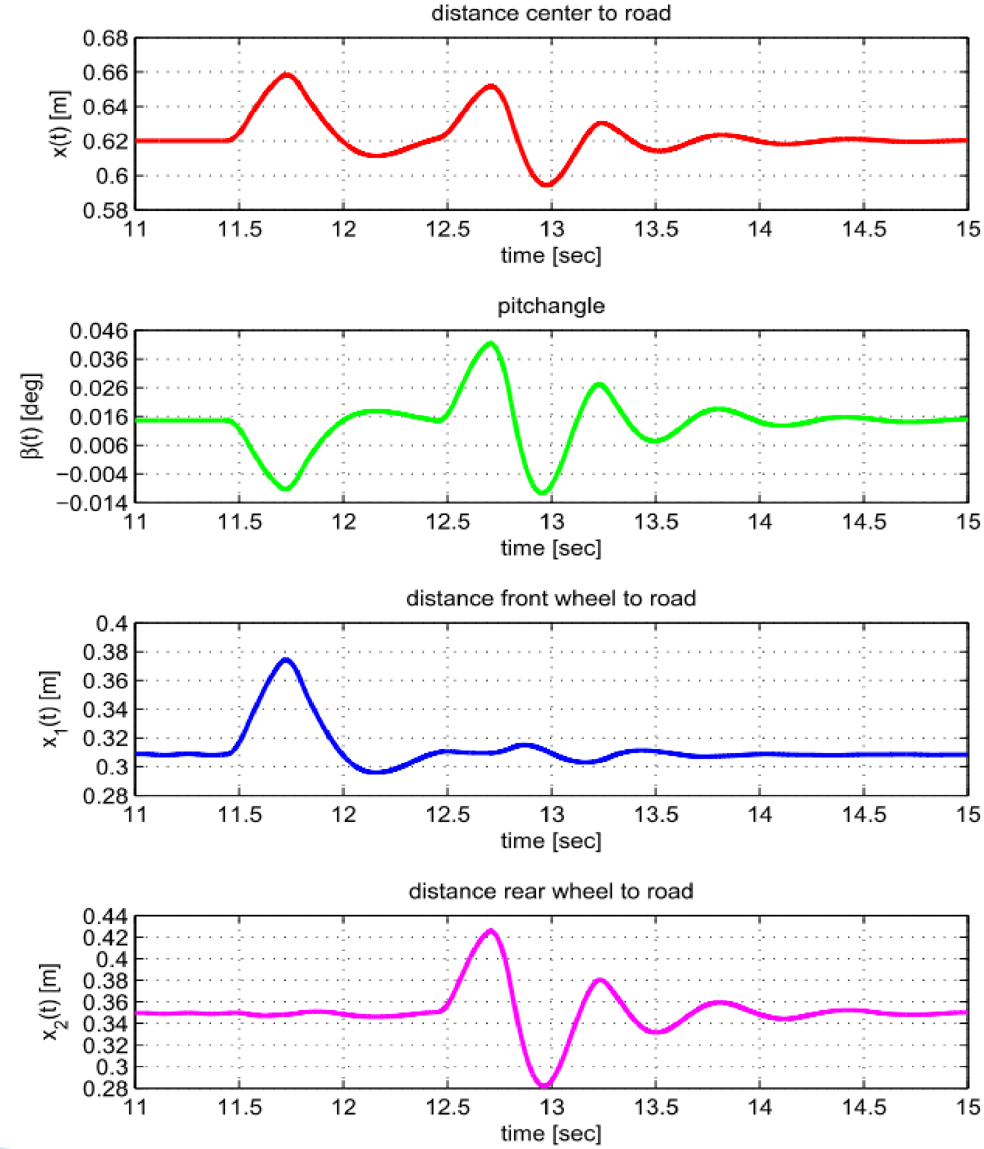


Messinstrumentierung

- Distanzen von 0,3 - 0,6 m
  → Reichweite von mind. 1 m

- Ausschläge von 1 - 5 cm
  → Auflösung von < 1 mm

- Periodendauer T = 600 -700 ms
  f = 2 Hz
  → Abtastfrequenz $f_A > 4$ Hz
  Abtastzeit $t_A < 250$ ms



Test am Versuchsfahrzeug

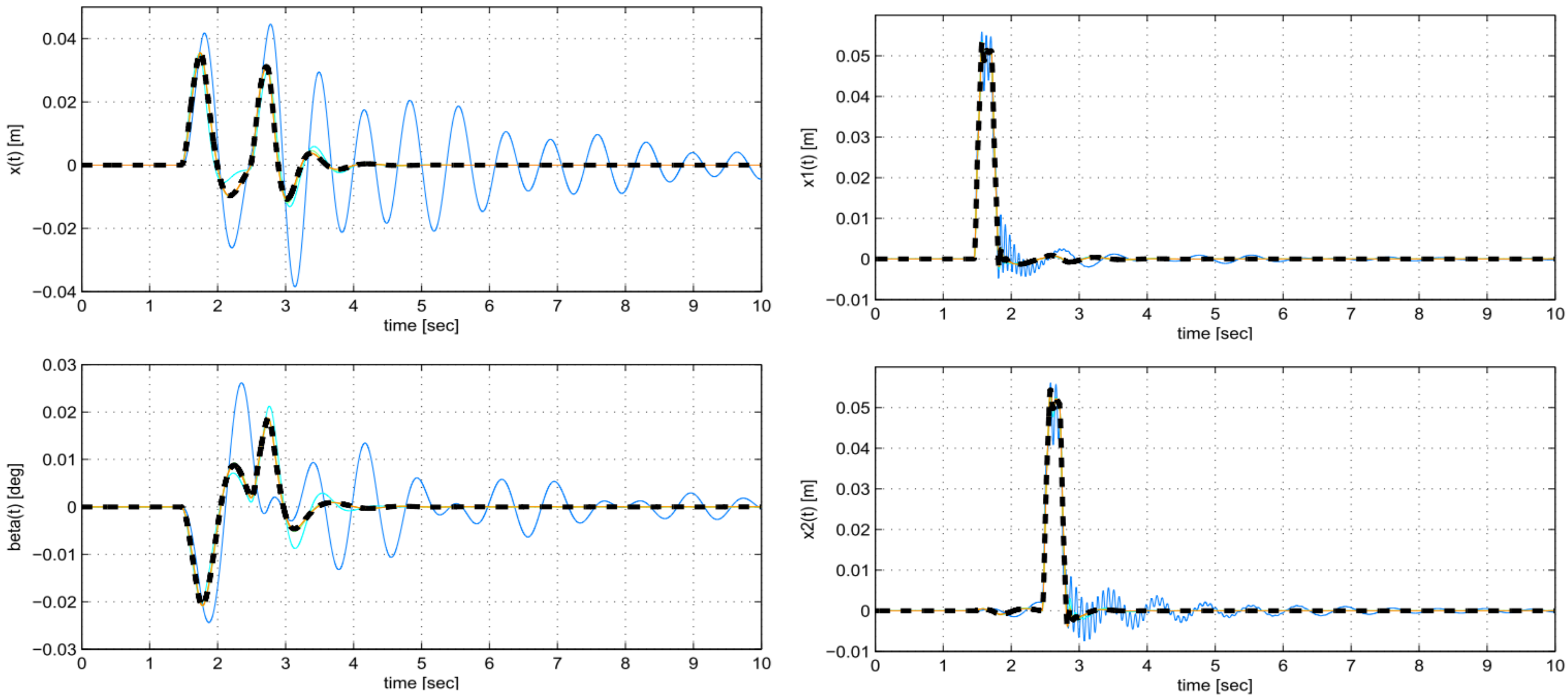
- Idee: Ermittlung der gesuchten Parameter aus Gesamtfahrzeug
- Modellparameter:
  - Massen, Feder -/ Dämpferkonstanten, Schwerpunkts -/ Radnabenposition

  → Aus Datenblätter oder durch statische Tests
- Zustandsgrößen:
  - Nickwinkel, Distanzen Schwerpunkt- Boden und Radnaben- Boden

  → Aus Messungen während des Tests am Versuchsfahrzeug
- Problem:
  - Dämpfungskonstante : geschwindigkeitsabhängiges Kennlinienfeld
    für Zug- und Druckbelastungen verschieden

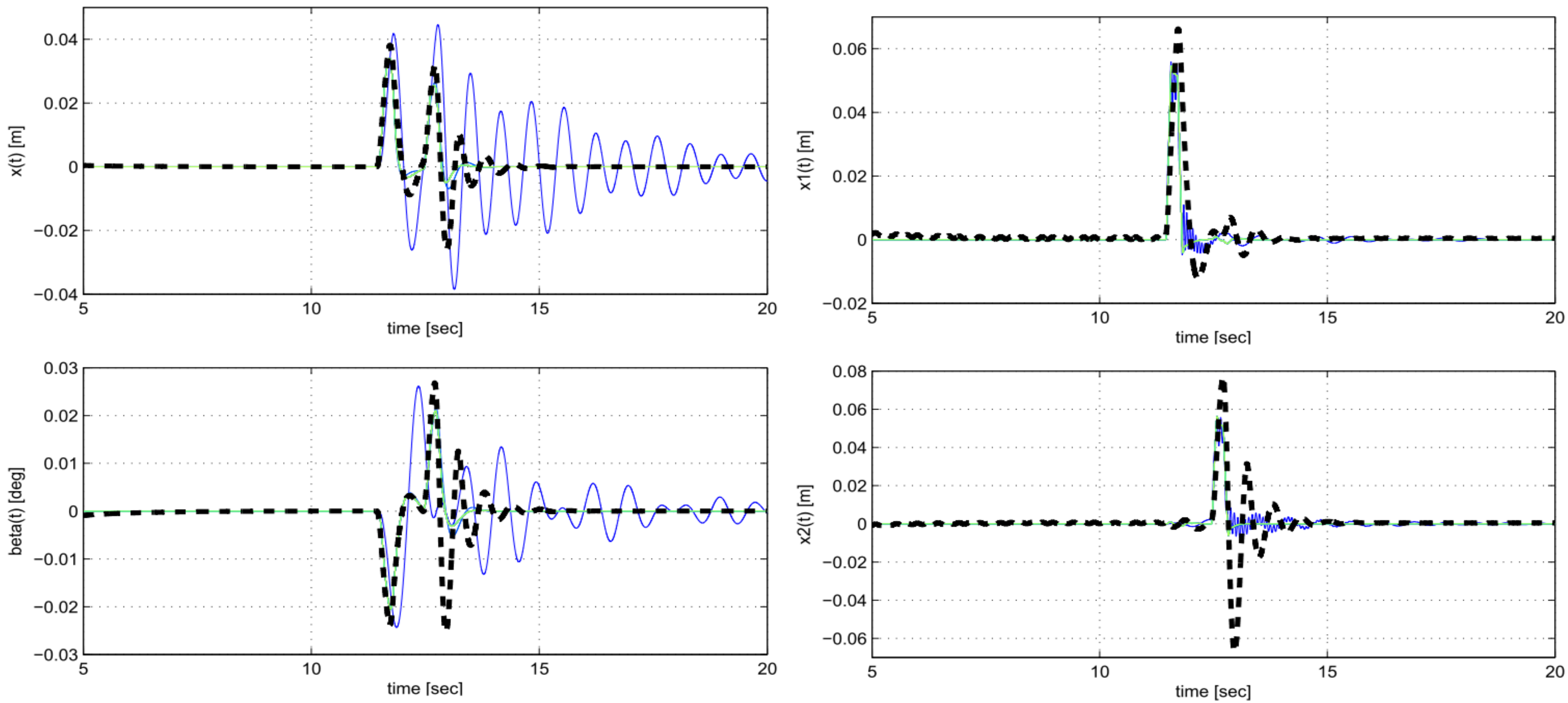
MIMO-System des Halbfahrzeugs

- Tatsächliecher Ausgang aus Halbfahrzeugmodell erzeugt



MIMO-System des Halbfahrzeugs

- Tatsächliecher Ausgang aus CarMaker-Daten erzeugt



Erkenntnis

- Model-Plant-Mismatch
- CarMaker-Modell voraussichtlich komplexer als verwendetes Halbfahrzeugmodell
- CT-SysId für komplexeres Modell nicht anwendbar
- Identifikation der Dämpfungsparameter durch CT-SysId nicht durchführbar

Danke für Eure Aufmerksamkeit