

Bachelorarbeit

Entwicklung eines modellbasierten prädiktiven Ansatzes zur Querdynamikregelung eines Fahrzeugs

Betreuung: Dr. Harald Waschl

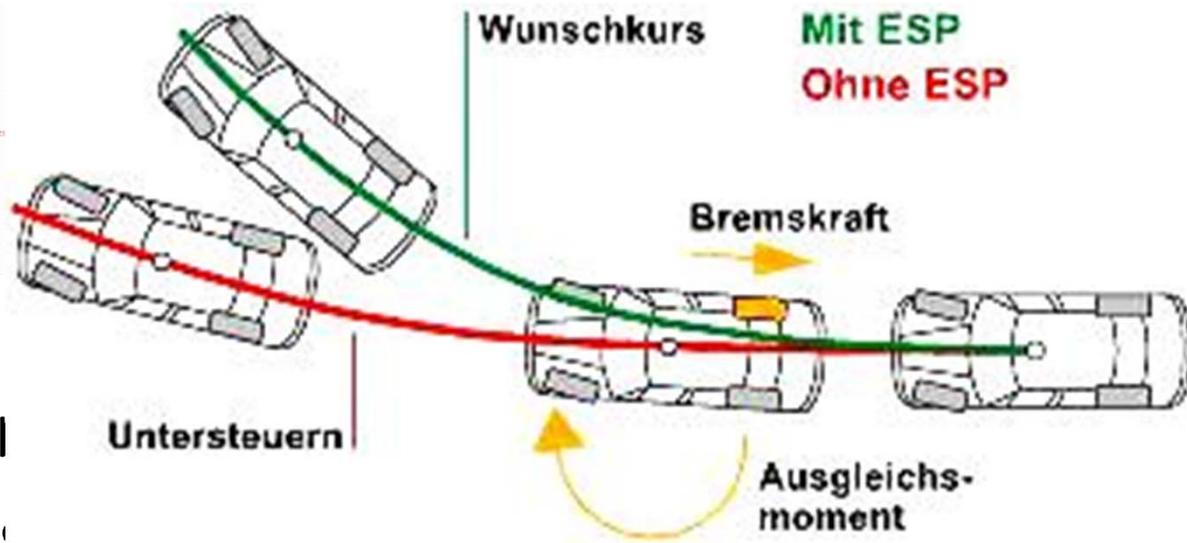
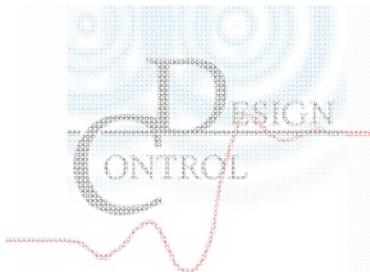
Einteilung

- Aufgabenstellung
- Grundlagen
 - ESP
 - MPC
 - Virtuelle Teststrecke
- Modellbildung
 - Ein\Zweispurmodell
 - Linearisierung
 - Reifenkräfte
- ESP-Regelung
 - Feedback- Struktur
 - MPC- Struktur
- Vergleich: Feedback und MPC
 - Testmanöver\ Simulationsergebnisse
 - Interpretation
- Zusammenfassung



Aufgabenstellung

- Grundidee: mehr Rechenleistung -> aufwendigere Regelungsvarianten
- ESP- Regelung mittels MPC (Model Predictive Control)
 - Simulationsstudie
 - Modellbildung
 - Aufbau der Regelungsstruktur
 - Verhalten der MPC-Regelung
 - z.B.: ESP-Norm gerecht
 - Vergleich mit gewöhnlichen Feedbackregelung
 - Vor und Nachteile



Elektron

– Ein

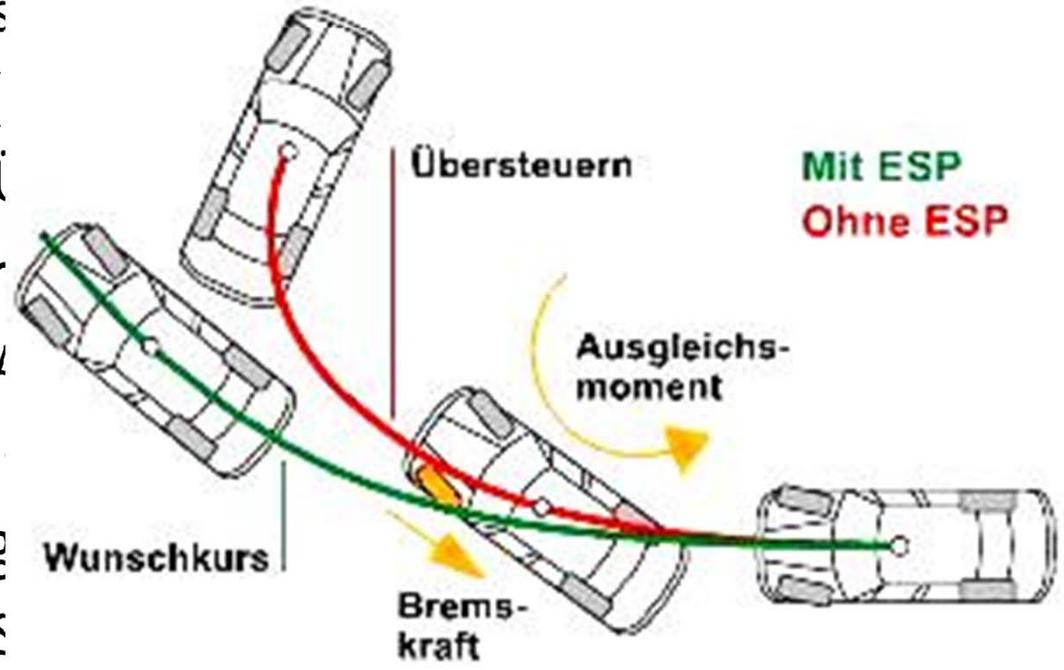
- s
- (
- i

– Vor

- A
-

– Reg

- s



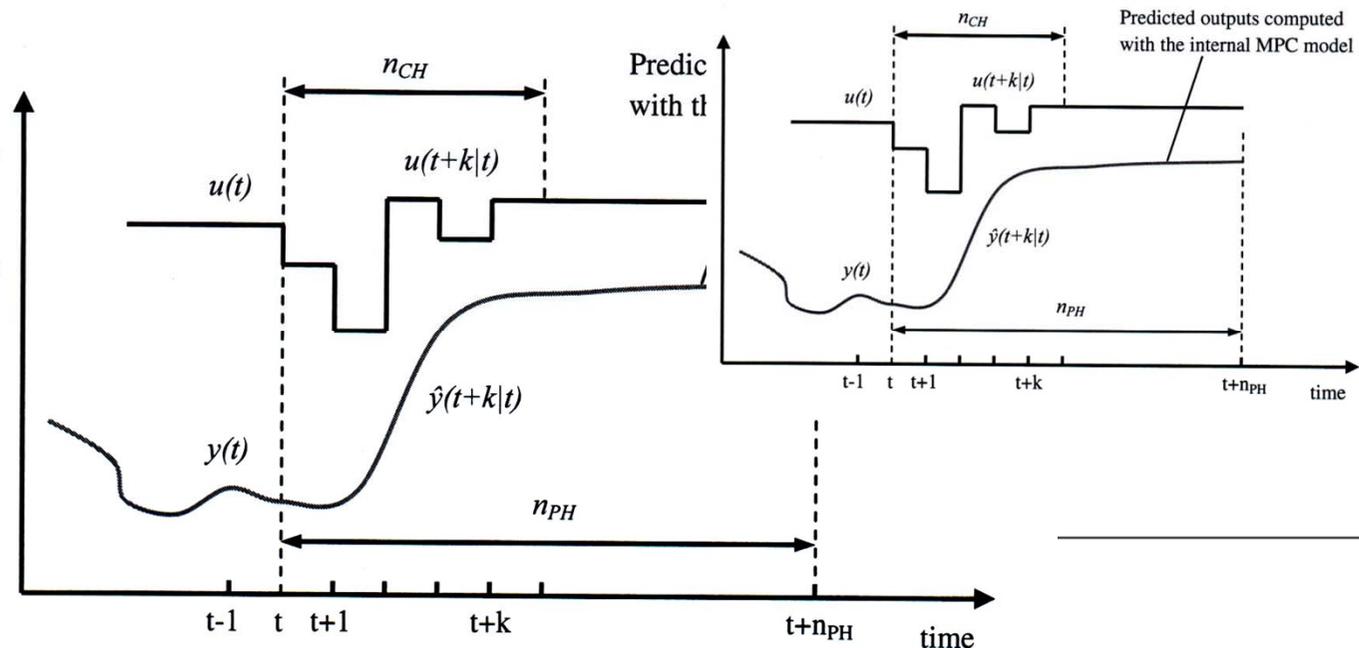
t

Grundlagen

Modell Predictive Control (MPC)

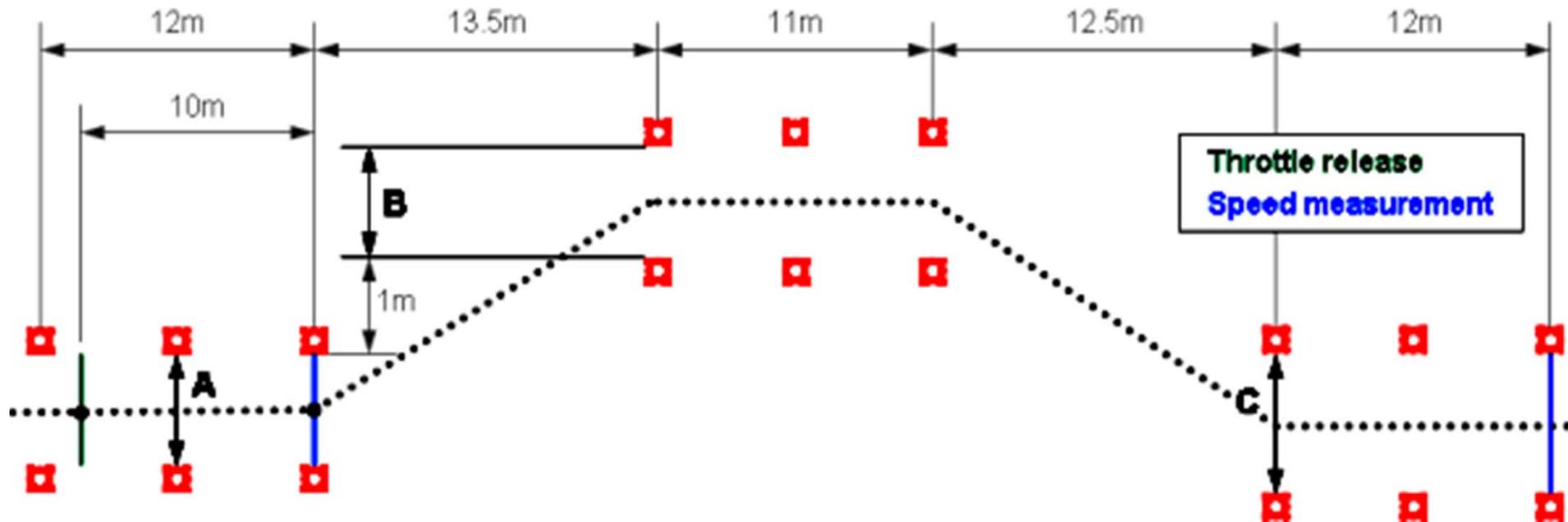
- Regelungsalgorithmus, welcher anhand eines dynamischen Prozessmodell einen zukünftigen Stellgrößenverlauf berechnet

- Referer
 - Einsp
- MPC- λ
 - linear



Grundlagen

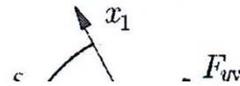
Virtuelle Teststrecke



Modellbildung

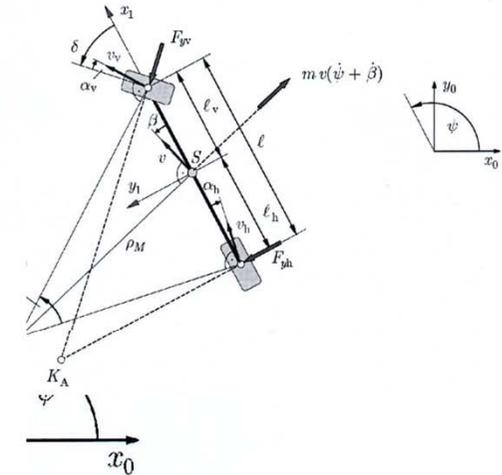
- Einspurmodell

—



$$mv(\dot{\psi} + \dot{\beta})\cos\beta = c_{av}\alpha_v\cos\delta + c_{ah}\alpha_h$$

$$\theta\ddot{\psi} = c_{av}\alpha_v\cos\delta l_v - +c_{ah}l_h$$



$$\beta = \left(l_h - \frac{ml_v}{c_{ah}l}v^2 \right) \frac{\dot{\psi}}{v}$$

$$\dot{\psi} = \frac{l}{l + m \frac{c_{ah}l_h - c_{av}l_v}{c_{ah}c_{av}l}v^2} \delta$$

Modellbildung

$$\dot{\beta} = \frac{1}{mv} [((F_{xrvl} + F_{bv}) + (F_{xrvr} + F_{bvr})) \sin(\delta - \beta) + (F_{yvl} + F_{yvr}) \cos(\delta - \beta) - ((F_{xrhl} + F_{bh}) + (F_{xrhr} + F_{bhr})) \sin\beta + (F_{yhl} + F_{yhr}) \cos\beta] - \dot{\psi}$$

$$\ddot{\psi} = \frac{1}{\theta} \{ l_v [((F_{xrvl} + F_{bv}) + (F_{xrvr} + F_{bvr})) \sin\delta + (F_{yvl} + F_{yvr}) \cos\delta] - l_h (F_{yhl} + F_{yhr}) + l_b [((F_{xrvr} + F_{bvr}) - (F_{xrvl} + F_{bv})) \cos\delta - (F_{yvr} - F_{yvl}) \sin\delta + ((F_{xrhr} + F_{bhr}) - (F_{xrhl} + F_{bh}))] \}$$

$$x = \begin{bmatrix} \beta \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} F_{bij} \\ F_{xrij} \\ F_{yij} \\ \delta \\ v \end{bmatrix}$$

Modellbildung

- Linearisierung

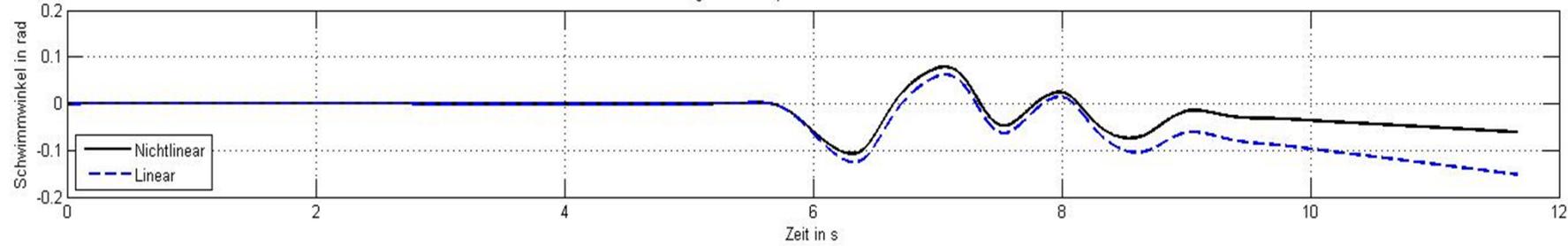
$$A = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{mv_s} & \frac{1}{mv_s} & -\frac{1}{mv_s} & -\frac{1}{mv_s} & 0 & 0 \\ -\frac{l_b}{\theta} & \frac{l_b}{\theta} & -\frac{l_b}{\theta} & \frac{l_b}{\theta} & -\frac{l_b}{\theta} & \frac{l_b}{\theta} & -\frac{l_b}{\theta} & \frac{l_b}{\theta} & \frac{l_v}{\theta} & \frac{l_v}{\theta} & -\frac{l_h}{\theta} & -\frac{l_h}{\theta} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

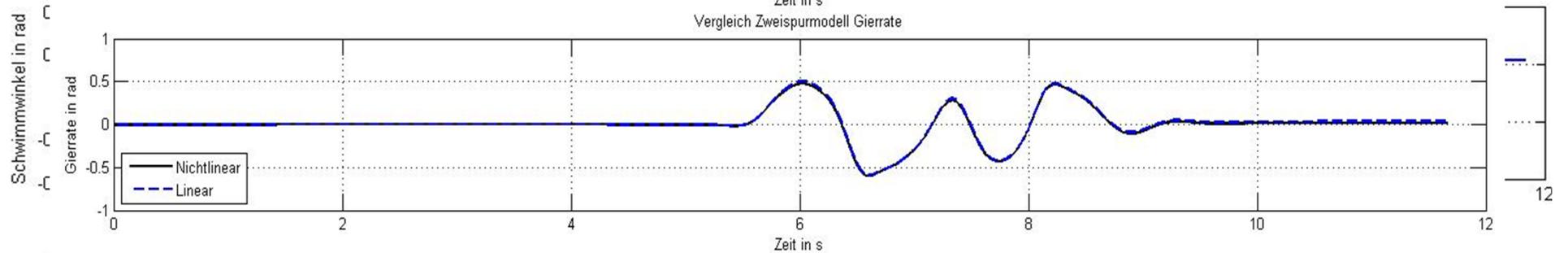
$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = 0$$

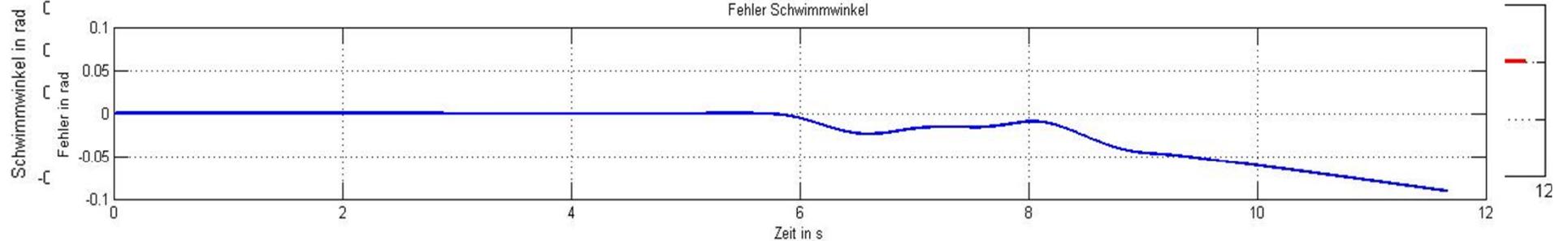
Vergleich Zweipurmodell Schwimmwinkel



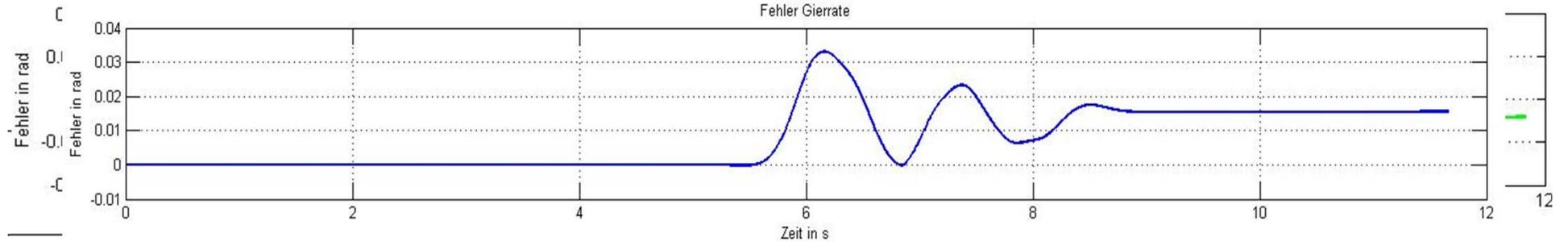
Vergleich Zweipurmodell Gierrate



Fehler Schwimmwinkel



Fehler Gierrate

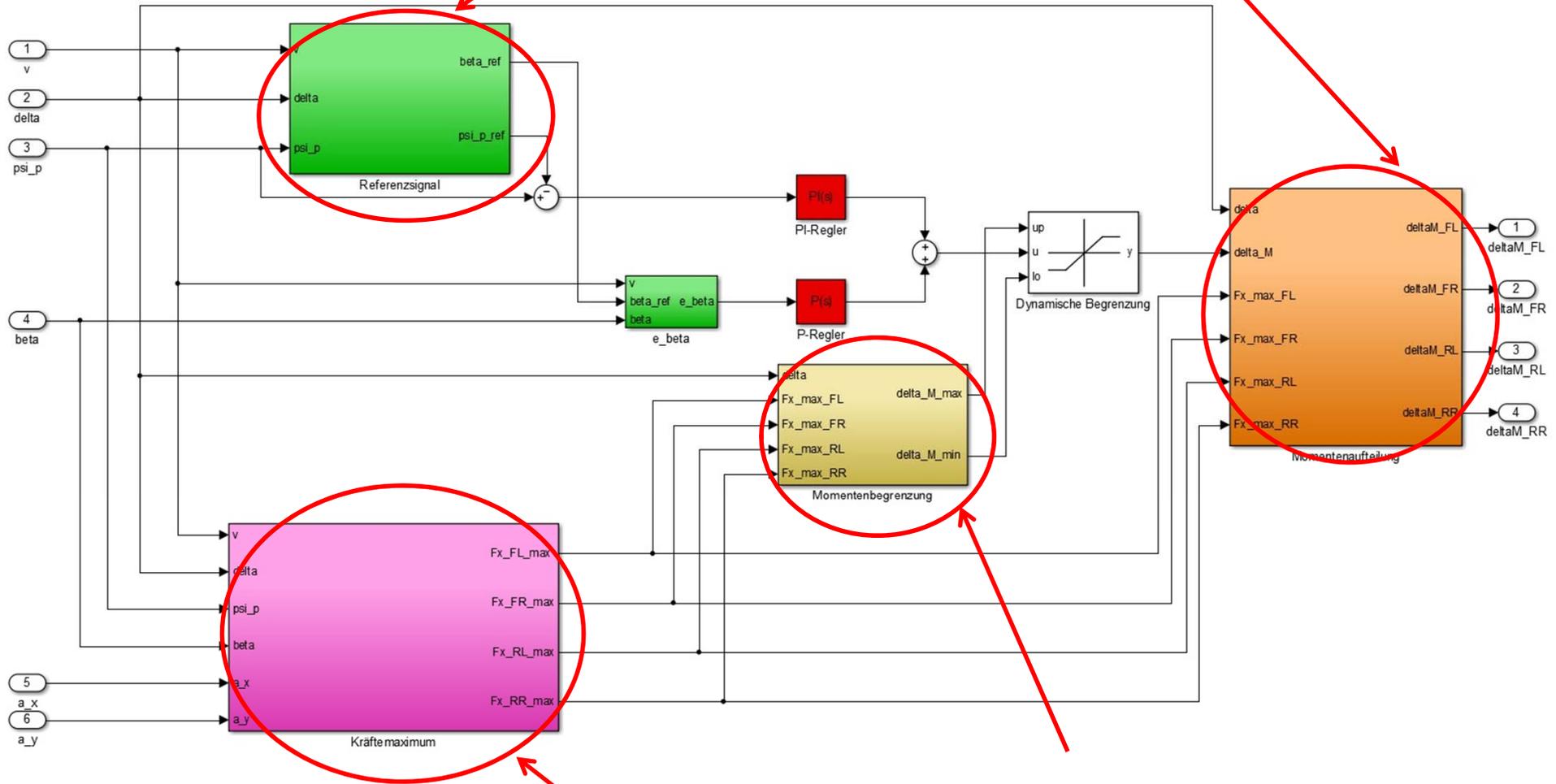


ESP- Regelung

Feedback- Struktur

- 2PI- Regler
- Referenzvorgabe mit dem Einspurmodell
- Begrenzung des maximalen Drehmoments

Referenzsignal (Eigenschaft des Bremsmoments)
 auf die einzelnen Räder



Maximale Begrenzung des maximalen
 (Kammungsgleiches) moment

ESP- Regelung

MPC- Struktur

- OMPC- Toolbox
- System („Measured Disturbance“)
- Optimierung

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_d d_k$$

$$u_k = Cu_k$$

$$U_k^* = \arg \min_{U_k} \sum_{h=0}^{n_{ph}-1} \left((\hat{y}_{k+h+1} - r_{k+h+1})^T Q (\hat{y}_{k+h+1} - r_{k+h+1}) + \Delta u_{k+h}^T R \Delta u_{k+h} + u_{k+h}^T S u_{k+h} \right)$$

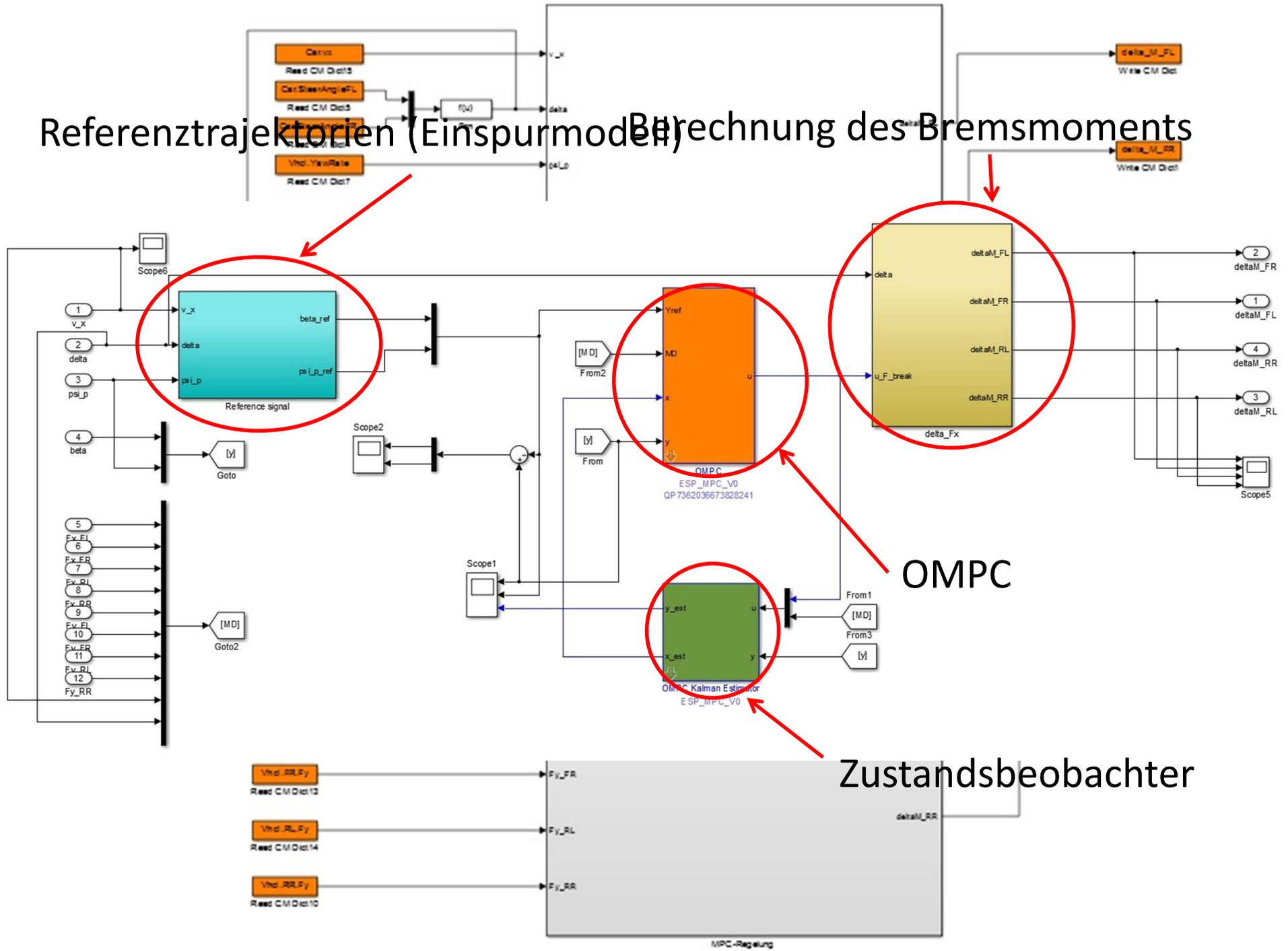
s.t.

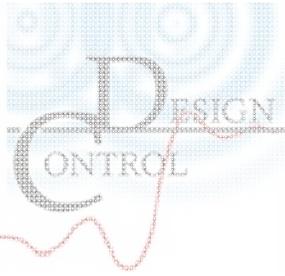
$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_d d_k$$

$$u_{k+h+1} = u_{k+h} \quad \forall h > n_{ch} + 1$$

$$u^{min} \leq u_{k+h} \leq u^{max}$$

Referenztrajektorien (Einspurmodus) Berechnung des Bremsmoments





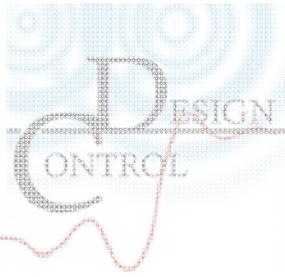
Simulation

Institut für Design und Regelung
Mechatronischer Systeme



JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ | JKU

- MPC-Regelungsstruktur/ ESP OFF
 - Versuch: LaneChange_ISO_ESP, $v=130\text{km/h}$



Simulation

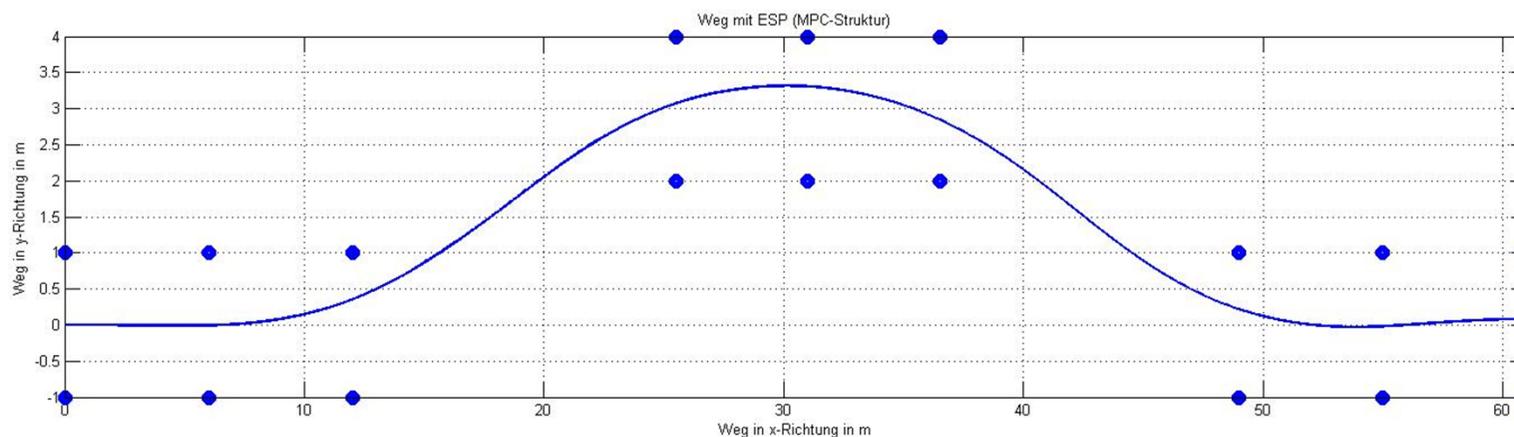
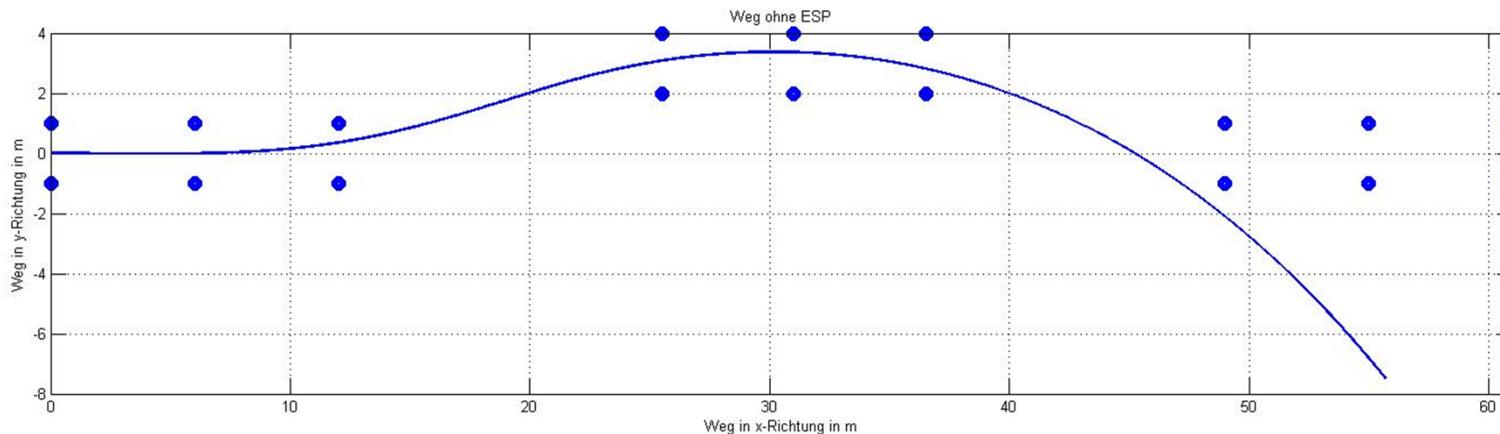
Institut für Design und Regelung
Mechatronischer Systeme



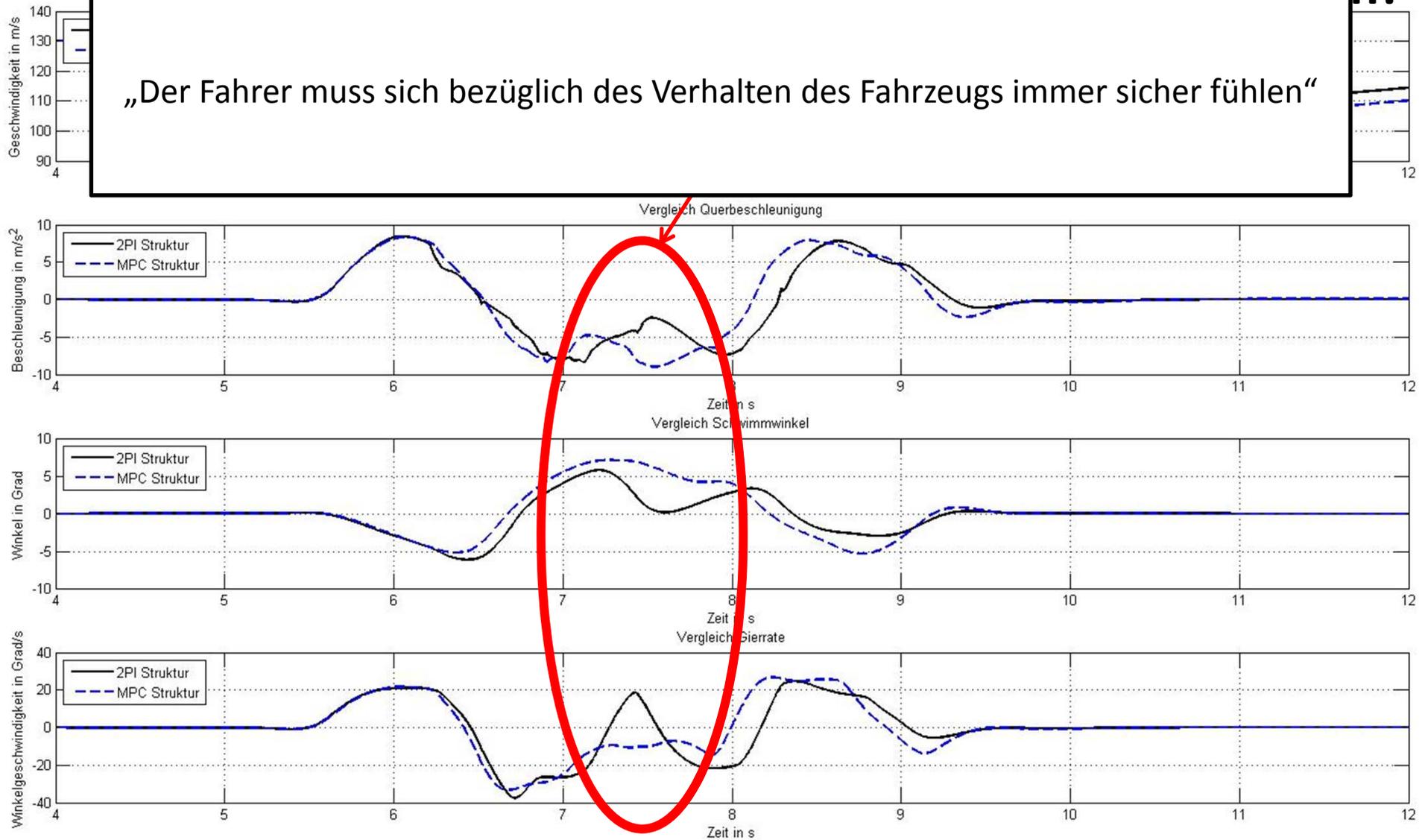
JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ | JKU

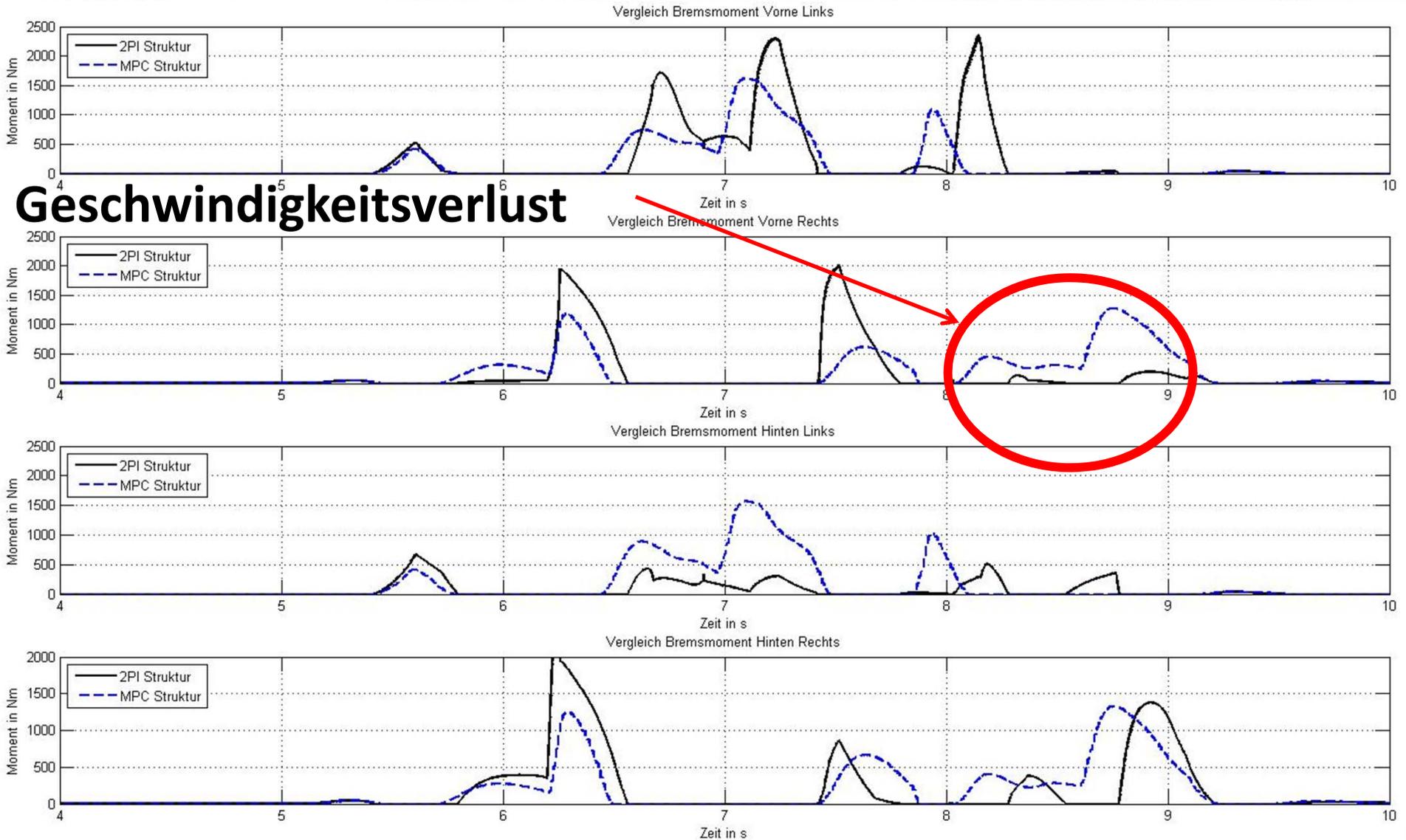
- MPC-Regelungsstruktur/ ESP ON

Vergleich: Feedback und MPC



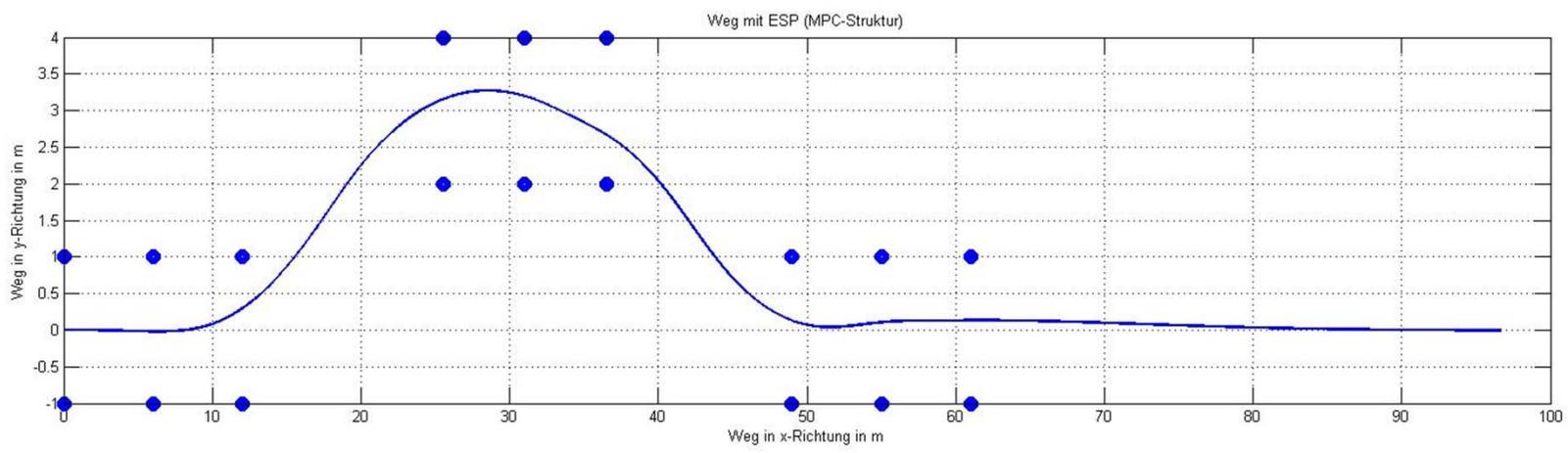
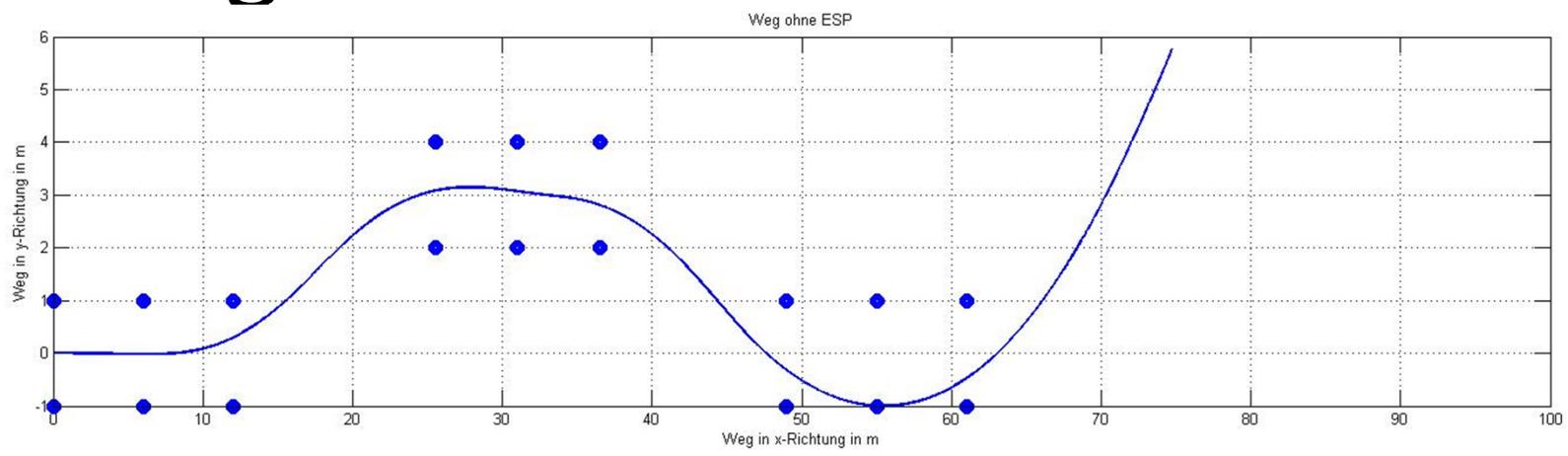
„Der Fahrer muss sich bezüglich des Verhalten des Fahrzeugs immer sicher fühlen“





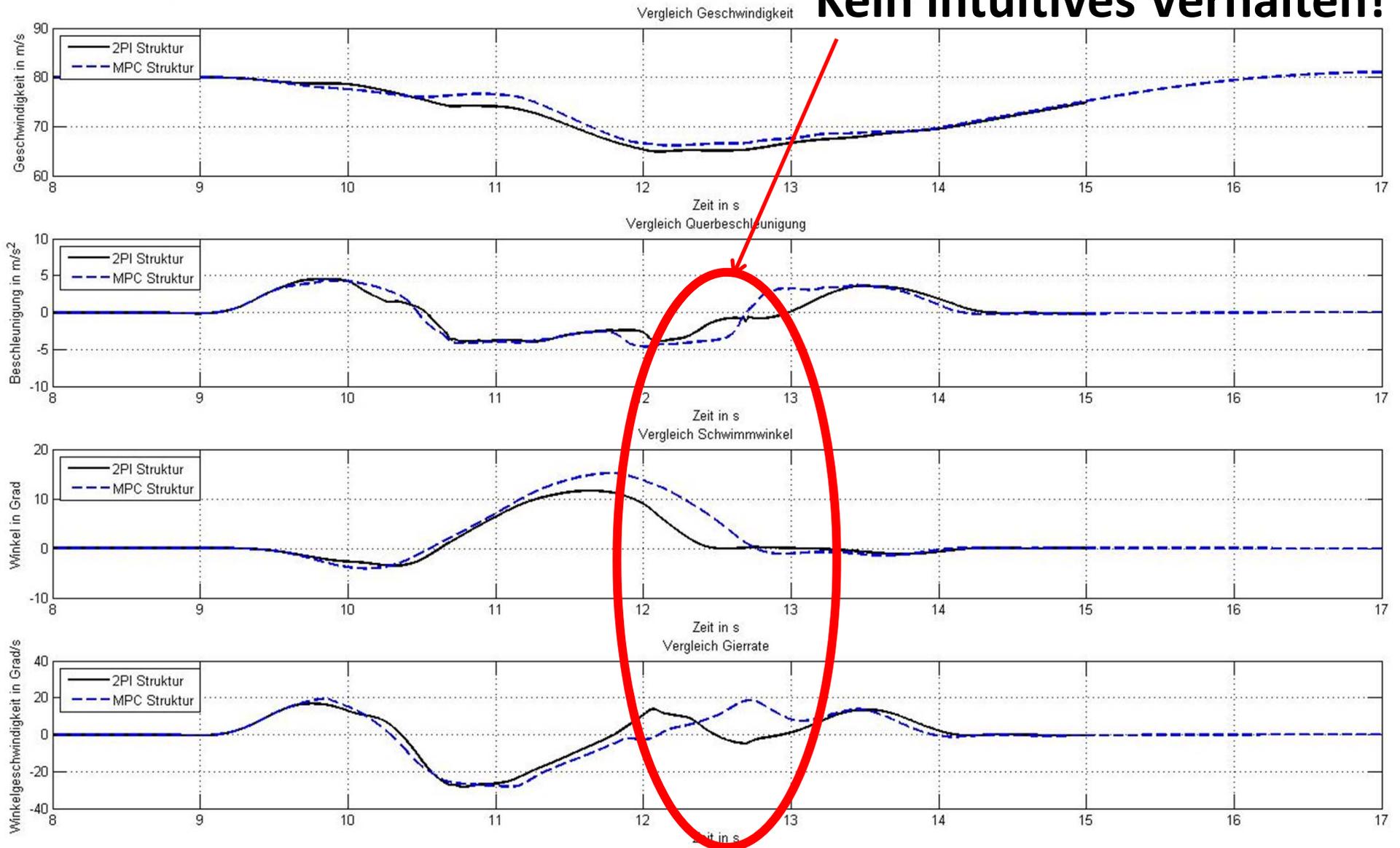
Geschwindigkeitsverlust

Vergleich: Feedback und MPC



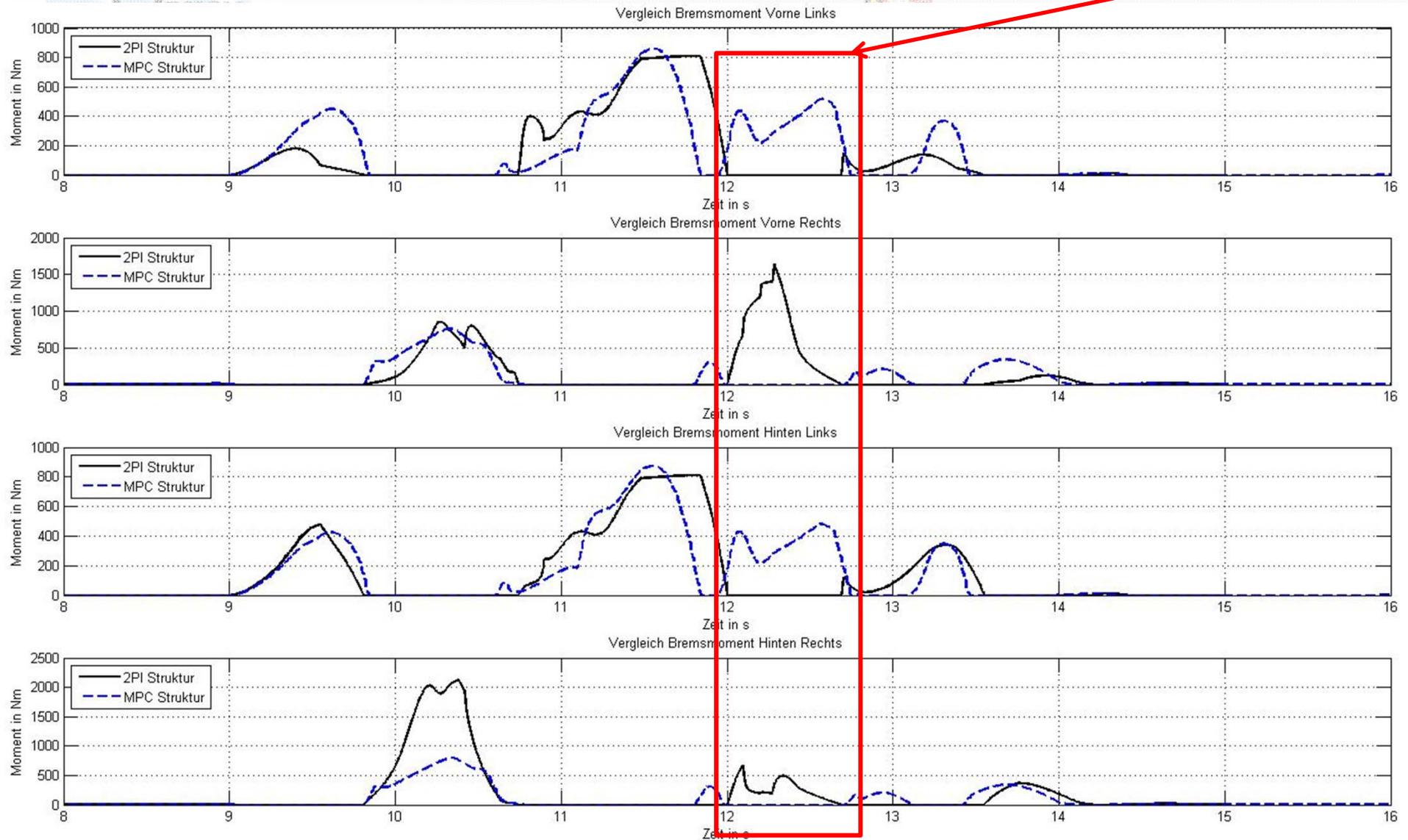


Kein intuitives Verhalten!

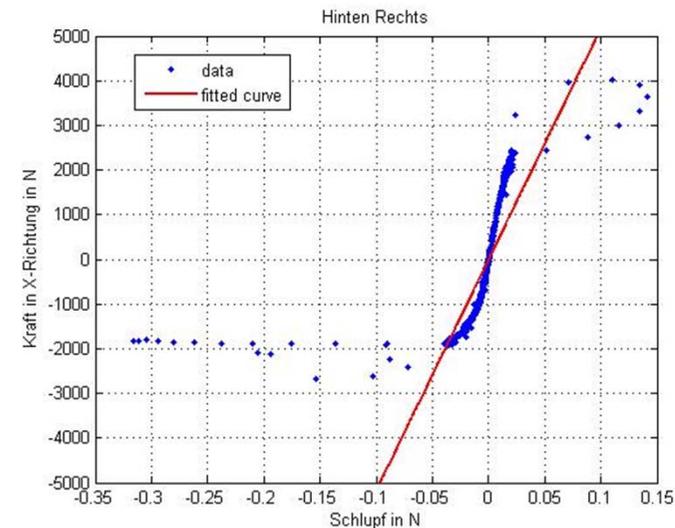
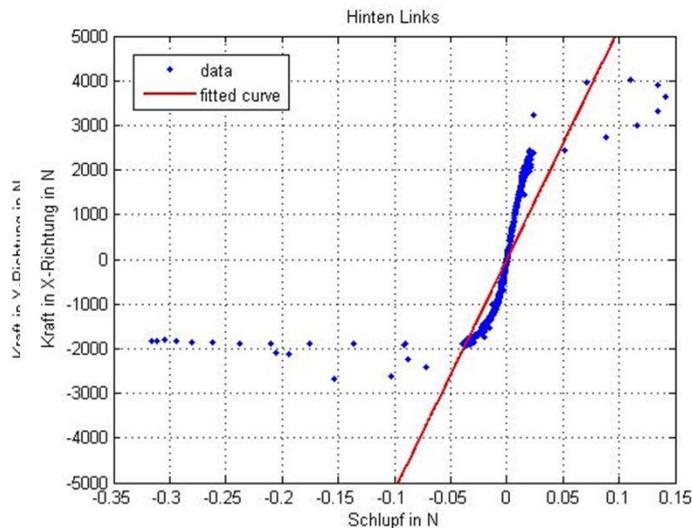




Anderes Bremsverhalten

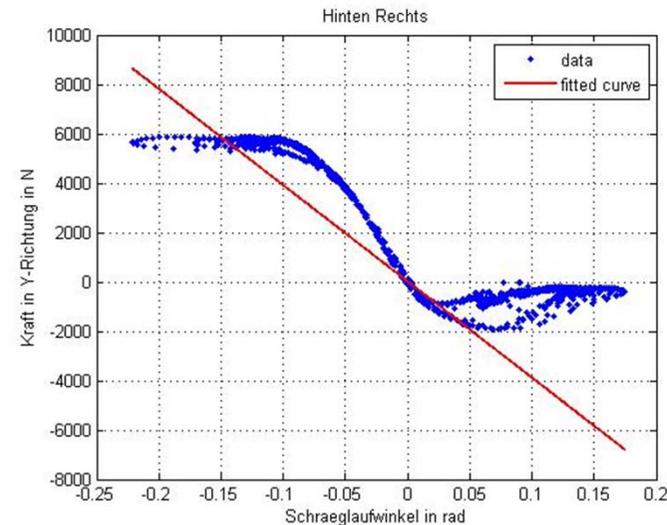
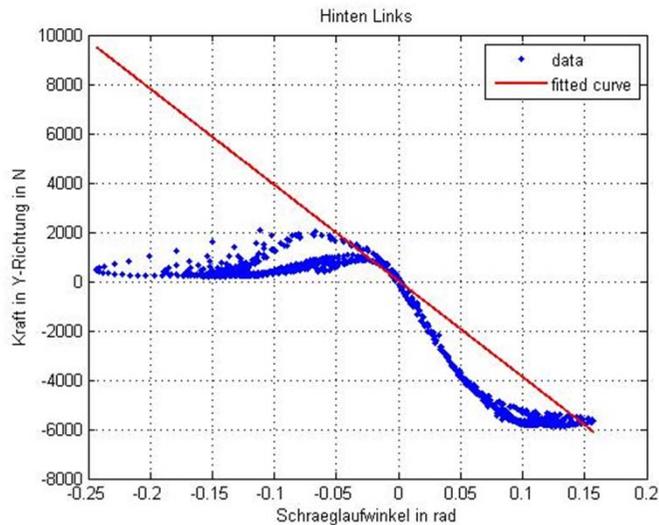


- Reibwerte
 - Anregung: Beschleunigungs und Bremsmanöver



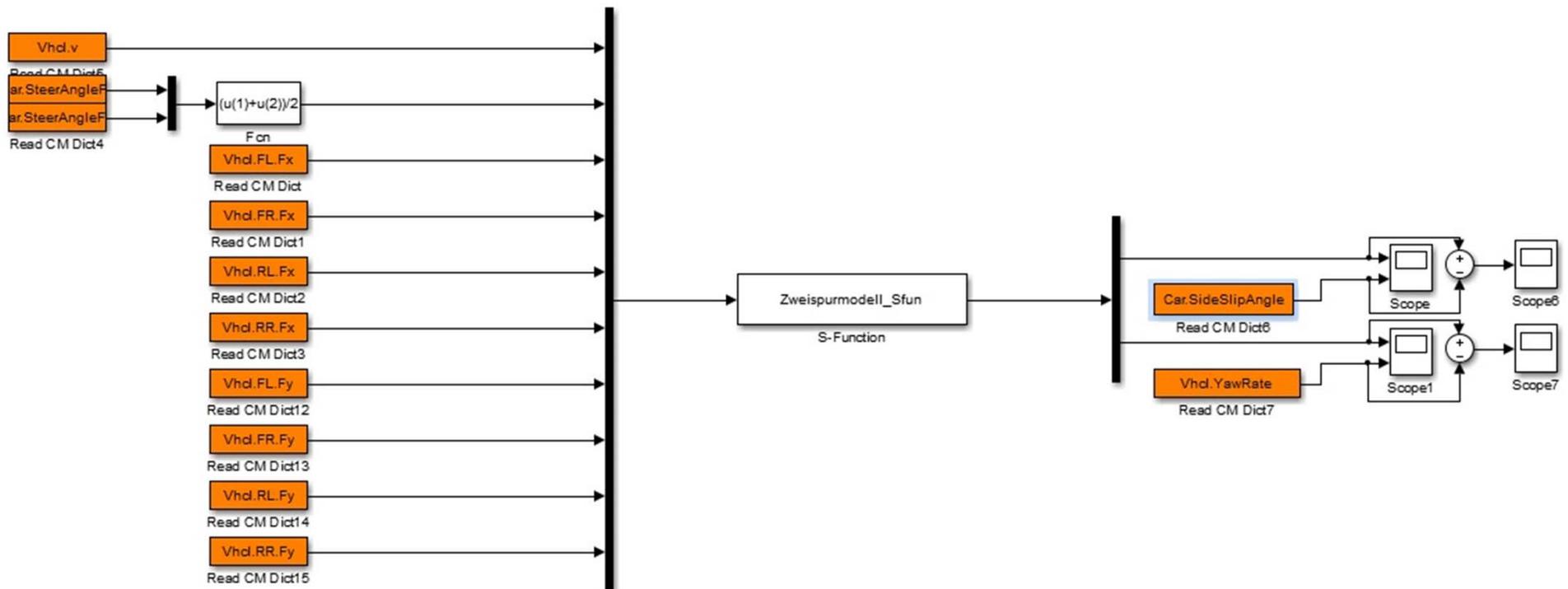
$$\mu_R = 0.1000$$

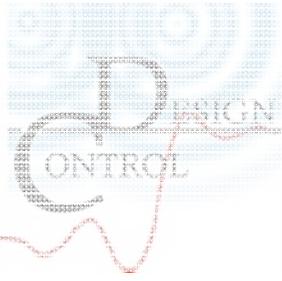
- Schräglaufsteifigkeiten
 - Anregung: Sinus- Sweep Lenkbewegung



$$C_{\alpha_R} = -30000$$

- Zweispurmodell
 - Versuch: LaneChange_ISO_ESP, v=130km/h





Zusammenfassung

- Klare Vorteile zur klassischen Struktur
- Einfacher Aufbau
- Zahlreiche Möglichkeiten für Beschränkungen

Ausblick

- Lenkwinkel in der Linearisierung beachten
- Nichtlinearer MPC
- Erweiterung der Struktur mit Beobachtern für nicht am Fahrzeug messbare Größen

Danke für ihre
Aufmerksamkeit!

