

„Implementierung, Test und Bewertung eines zeitvarianten Algorithmus zur Ansteuerung einer Bewegungsplattform“

von

Tobias Lorenz

Braunschweig, 18. September 2008

Themenpräsentation

- 1. Grundlagen des Motion-Cueing**
- 2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus**
- 3. Untersuchung der Simulatordynamik**
- 4. Kriterium zur objektiven Bewertung der Güte von Motion-Cueing-Algorithmen**
- 5. Ausblick**

1. Grundlagen des Motion-Cueing

1. Grundlagen des Motion-Cueing

1.1 Was ist Motion-Cueing?

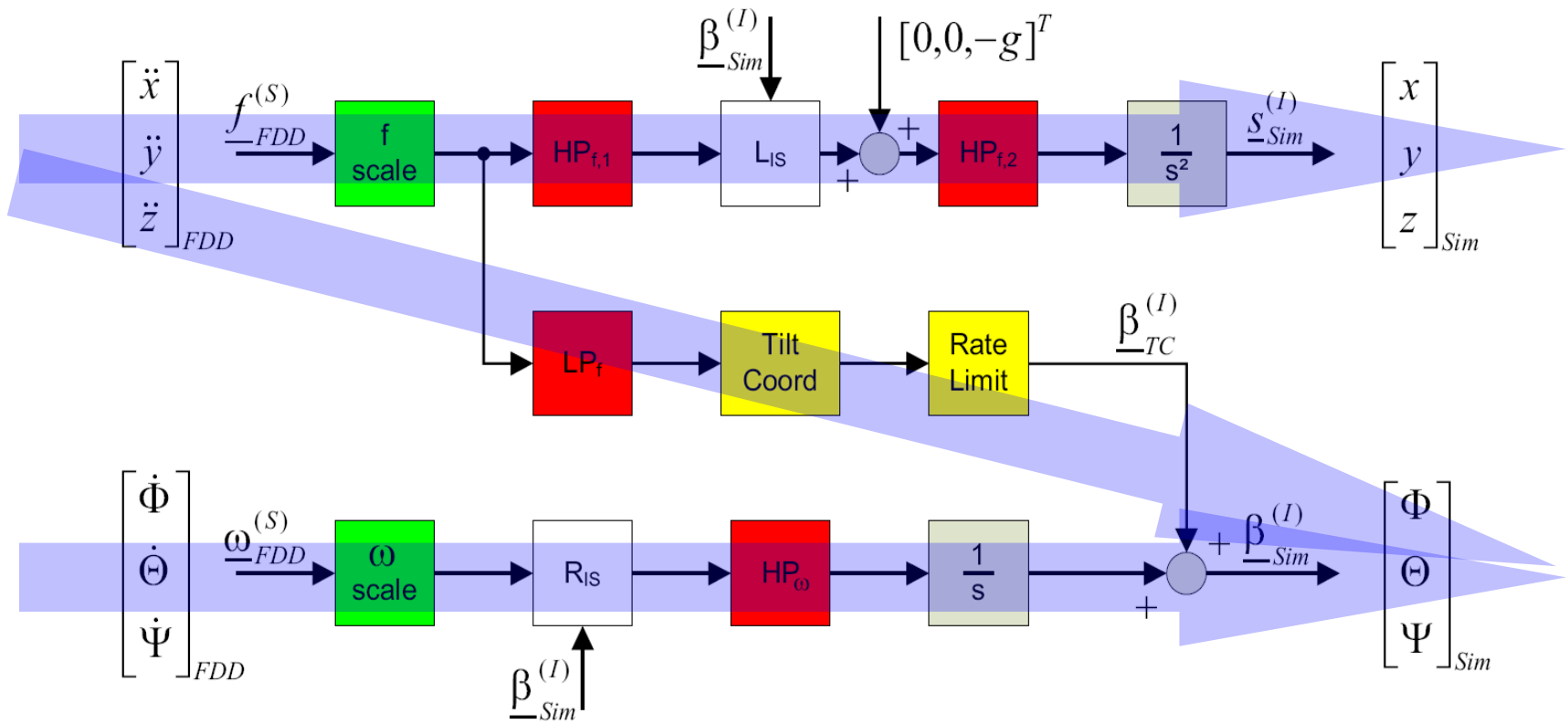
Motion-Cueing¹: Mit Motion-Cueing werden akustische, visuelle, vestibuläre und haptische Reize bezeichnet, die reale Bewegungen widerspiegeln sollen.

- Position und Geschwindigkeit können nahezu exakt reproduziert werden (Fahrtgeräusche, grafische Umgebungssimulation)
- Beschleunigungen durch eingeschränkten Simulatorarbeitsraum nur begrenzt darstellbar ⇒ *Motion-Cueing-Algorithmus*

Quelle:¹ Fachlabor 2008 DLR Braunschweig, Dipl.-Ing. Martin Fischer

1. Grundlagen des Motion-Cueing

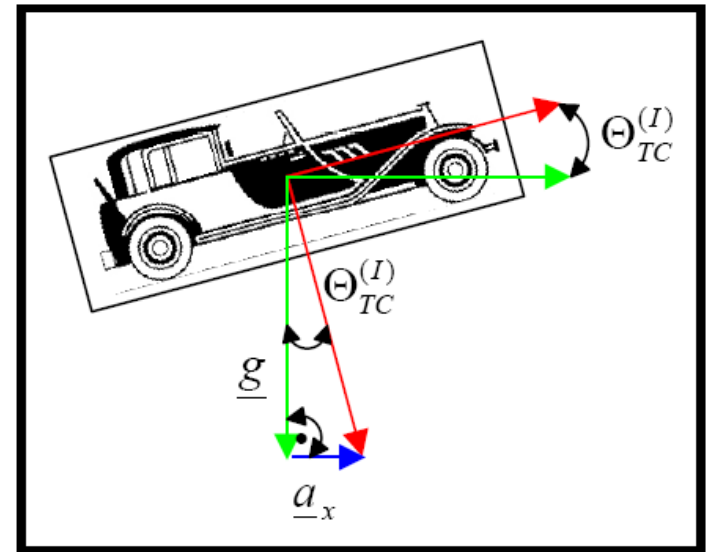
1.2 Der Motion-Cueing-Algorithmus (MCA)



1. Grundlagen des Motion-Cueing

1.3 Tilt-Coordination

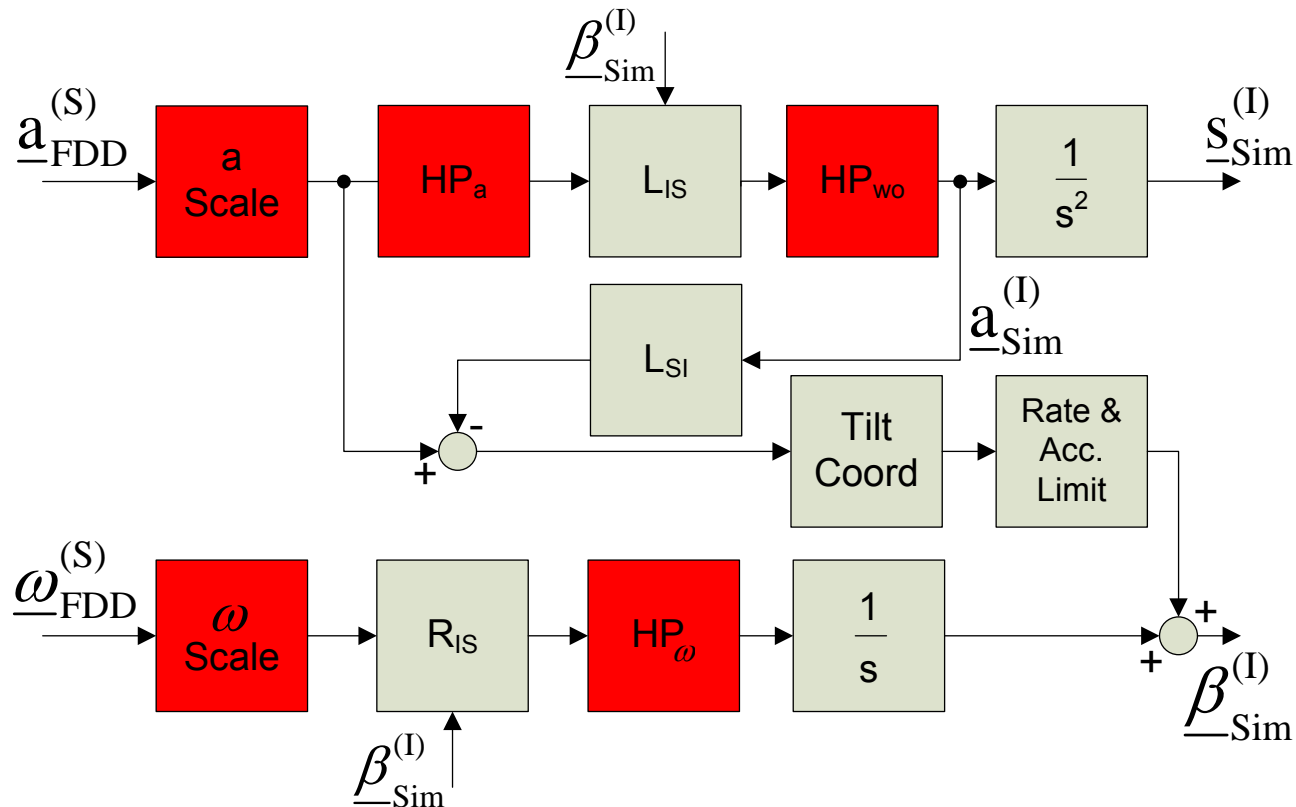
- Kippen der Simulatorplattform zur Präsentation von latenten Beschleunigungen
- Ist nur für longitudinale und laterale Beschleunigungen möglich
- ➔ Orthogonalität zwischen g-Vektor und Beschleunigungsvektor erforderlich





1. Grundlagen des Motion-Cueing

1.4 Vorstellung des MCA Fast-Tilt-Coordination (FTC)



2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

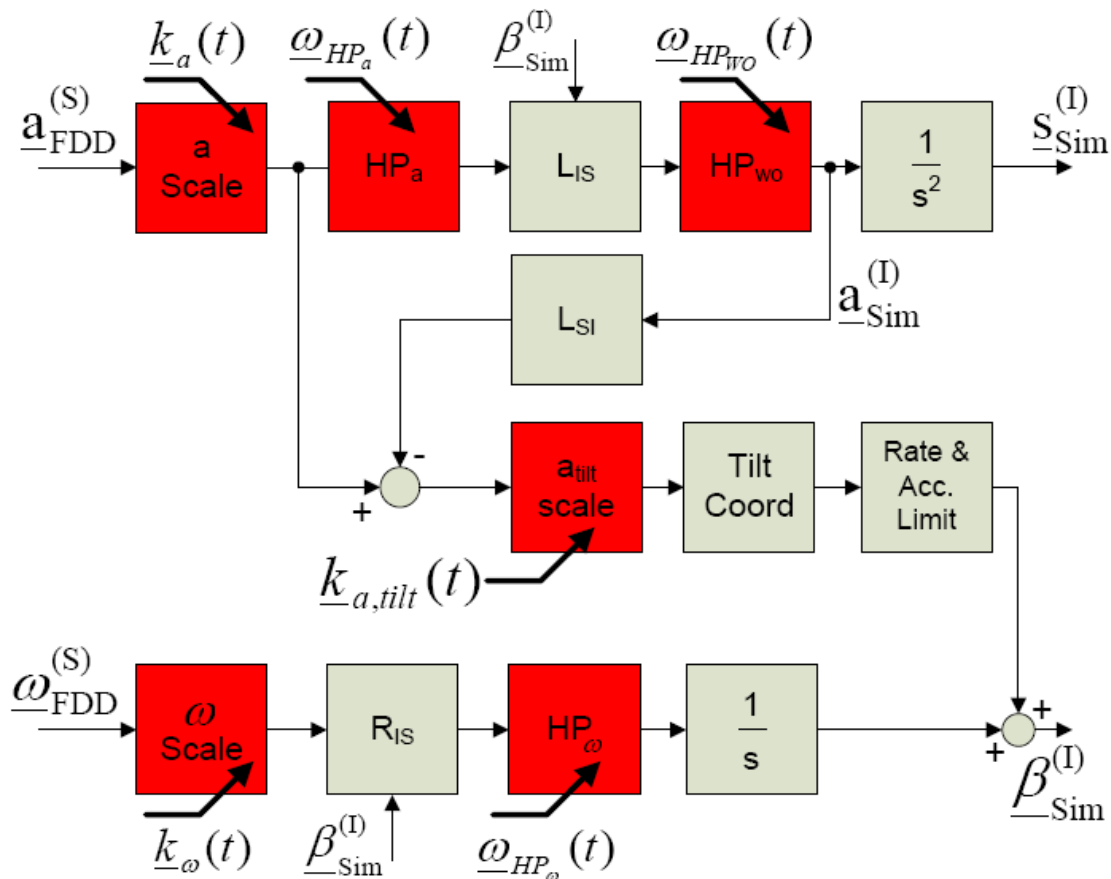
2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.1 Der zeitvariante FTC

- verschiedene Fahrsituationen weisen charakteristische Frequenzanteile auf
 - ⇒ Verwendung eines der Fahrsituation angepassten Parametersatzes um die bestmögliche Performance des Simulators zu gewährleisten
- effektiveres Online-Tuning des Motion-Cueing-Algorithmus

2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.1 Der zeitvariante FTC



2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.2 Untersuchung des Umschaltverhaltens des FTC

- Die Koeffizienten der Übertragungssysteme erster Ordnung werden zeitvariant gestaltet

$$\dot{x}(t) = \underbrace{-a_0(t)}_{A(t)} x(t) + \underbrace{1}_B u(t)$$

$$y(t) = \underbrace{-a_0(t)}_{C(t)} x(t) + \underbrace{1}_D u(t)$$

- Bei hartem Umschalten des Filterparameters $a_0(t)$ entsteht ein Sprung im Filterausgangssignal $y(t)$ der vermieden werden soll
→ Unstetigkeit

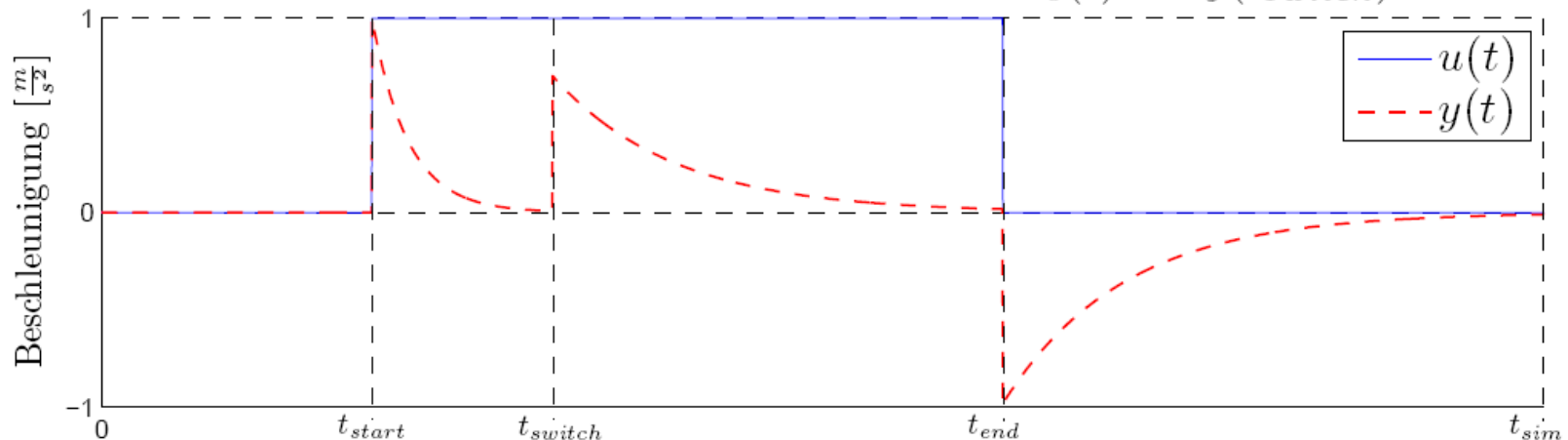
2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.2 Untersuchung des Umschaltverhaltens des FTC

- Die Sprunghöhe h des Ausgangssignalsprunges kann berechnet werden

$$h = \frac{(y_1 - u) \cdot (a_0(t_{switch}^+) - a_0(t_{switch}^-))}{a_0(t_{switch})}$$

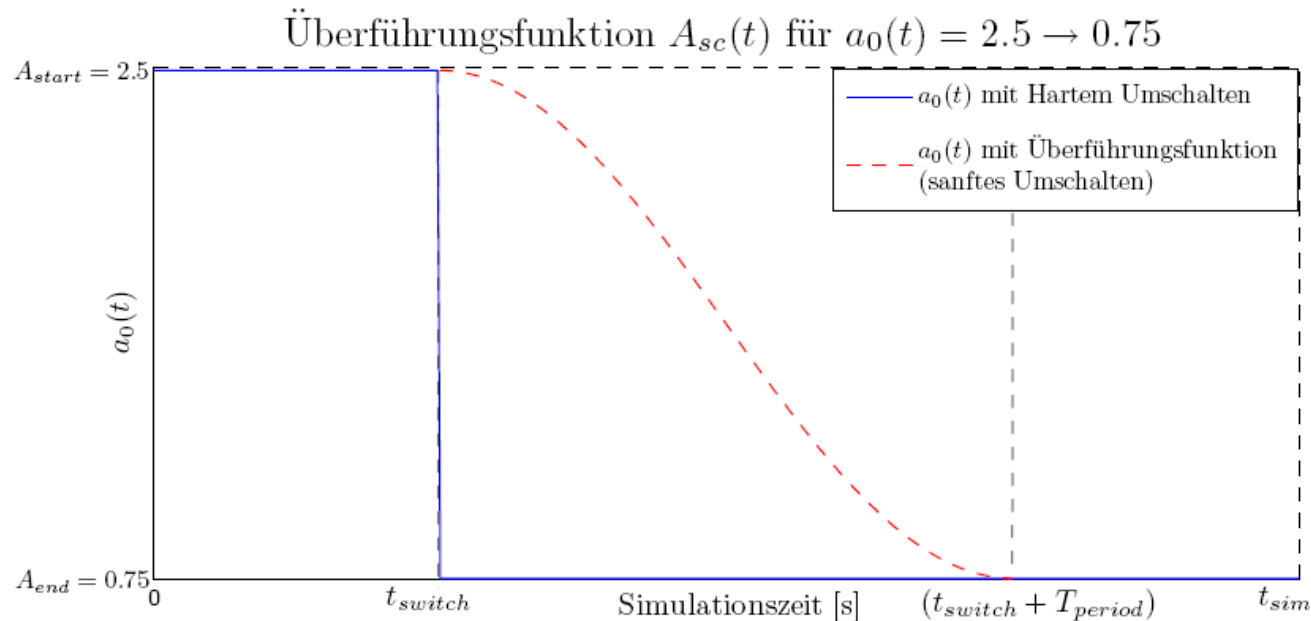
Hartes Umschalten des Filterkoeffizienten $a_0(t)$ für $y(t_{switch}) \approx 0$



2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.3 Parameterumschaltung mit Überföhrungsfunktion

$$A_{sc}(t) = \left(\frac{A_{start} - A_{end}}{2} \right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{2 \cdot T_{period}} \right) + \left(\frac{A_{start} + A_{end}}{2} \right)$$

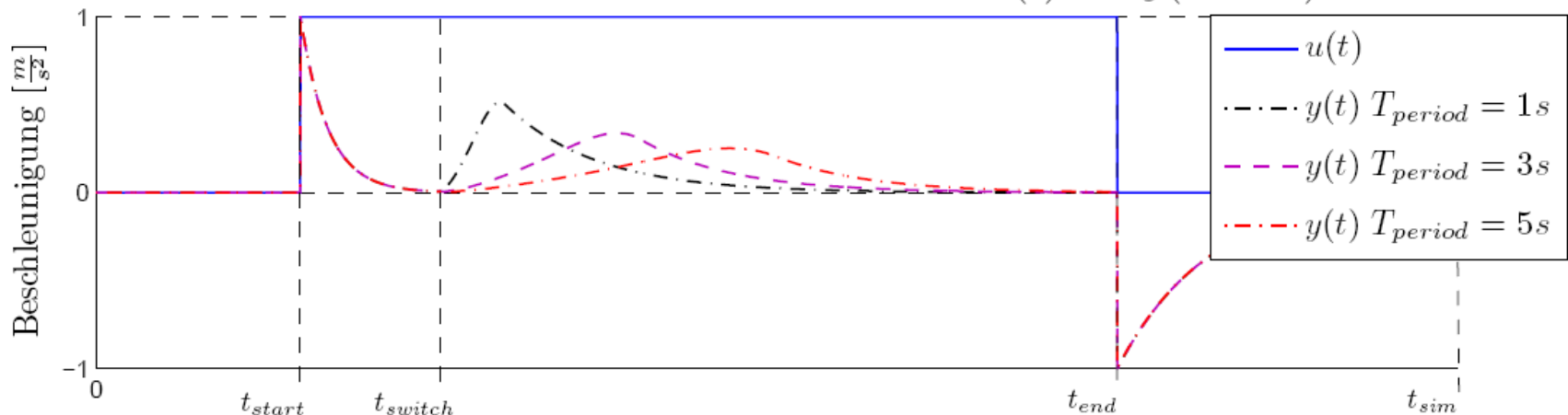


2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.3 Parameterumschaltung mit Überföhrungsfunktion

- Je kleiner T_{period} ist umso größer ist die Amplitude des Ausgangssignals bei Parameterumschaltung

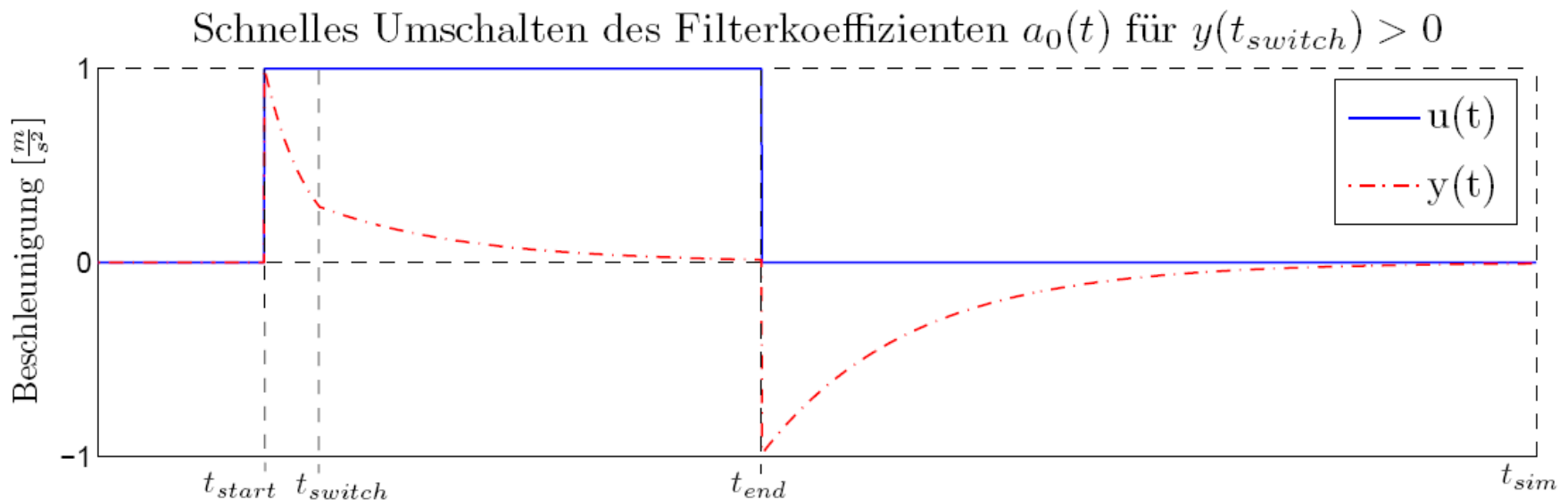
Sanftes Umschalten des Filterkoeffizienten $a_0(t)$ für $y(t_{switch}) \approx 0$



2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

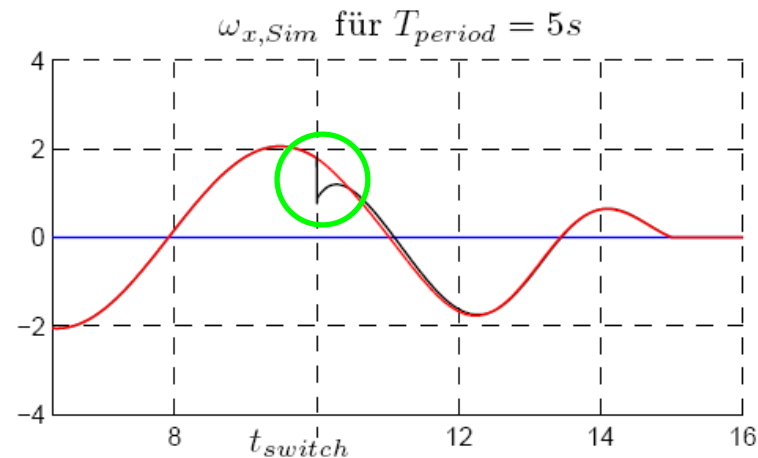
2.4 Parameterumschaltung mit Zustandsanpassung

- Anstelle eines Ausgangssignalsprunges tritt ein Zustandssprung auf



2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.5 Vergleich der beiden Methoden

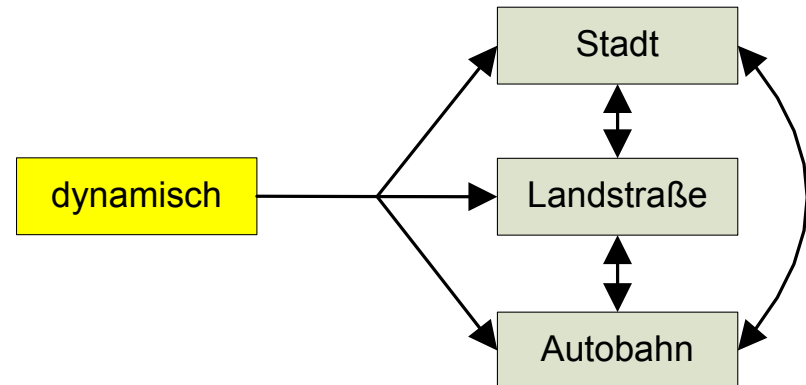
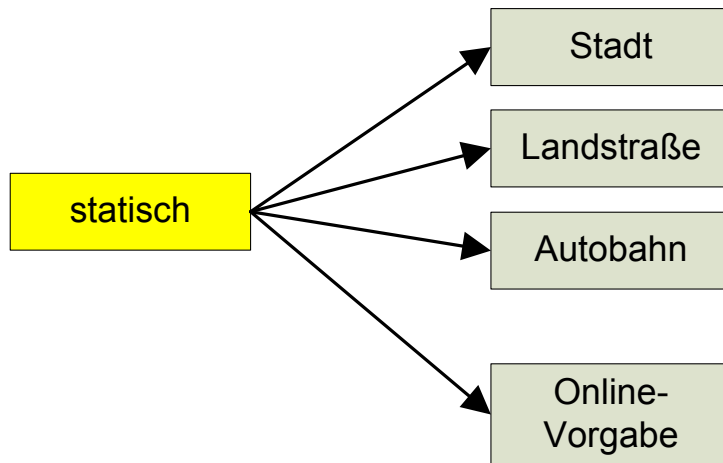


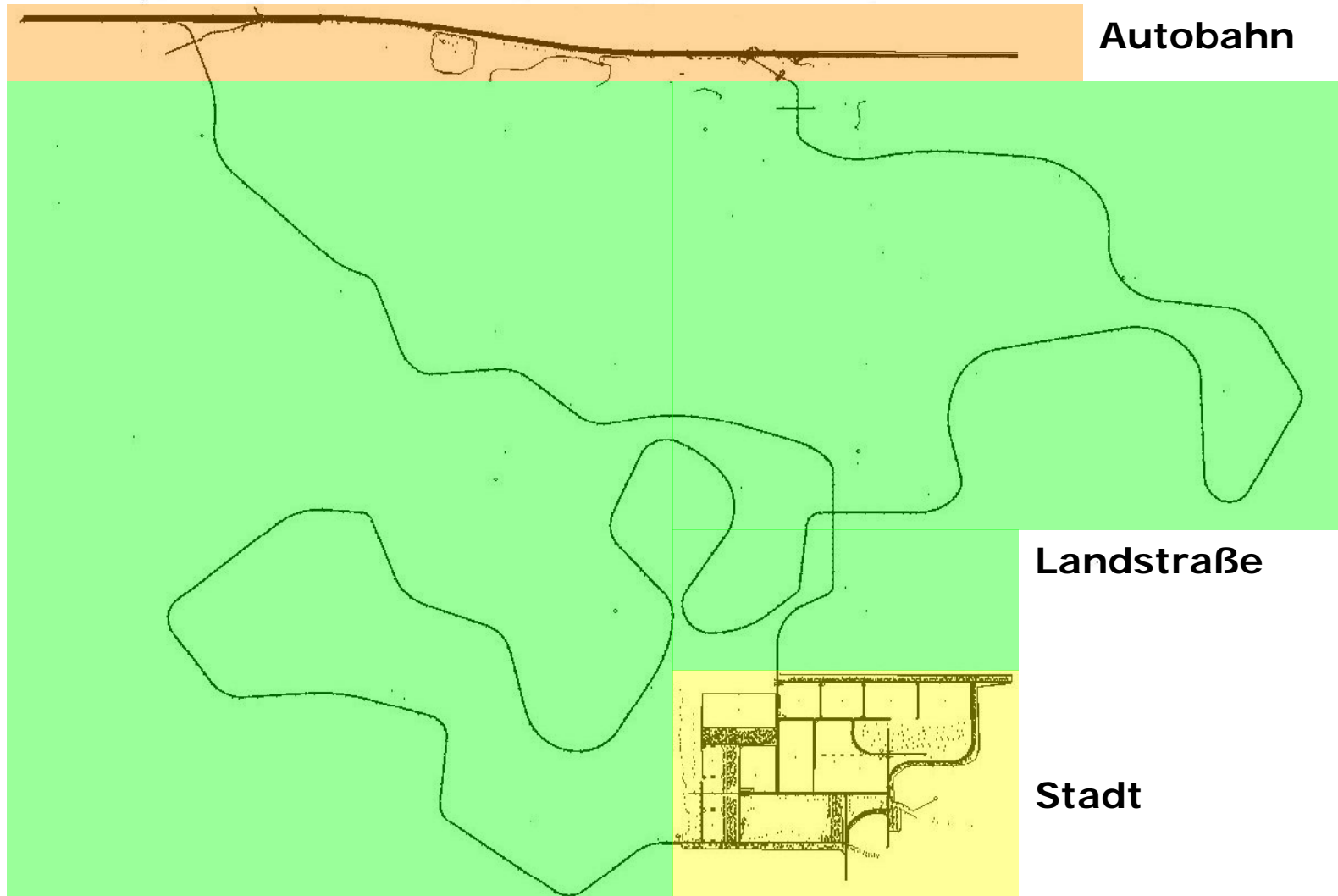
Rot -MCA-Ausgangssignal mit Überföhrungsfunktion
Schwarz -MCA-Ausgangssignal mit Zustandsanpassung

2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.6 Ermittlung des aktuellen Parametersatzes

- Ermittlung des aktuellen Parametersatzes entweder statisch oder dynamisch → Steuerung durch Indikator





2. Der zeitvariante Motion-Cueing-Algorithmus

2.7 Weitere Bedingungen für Parametersatzumschaltung

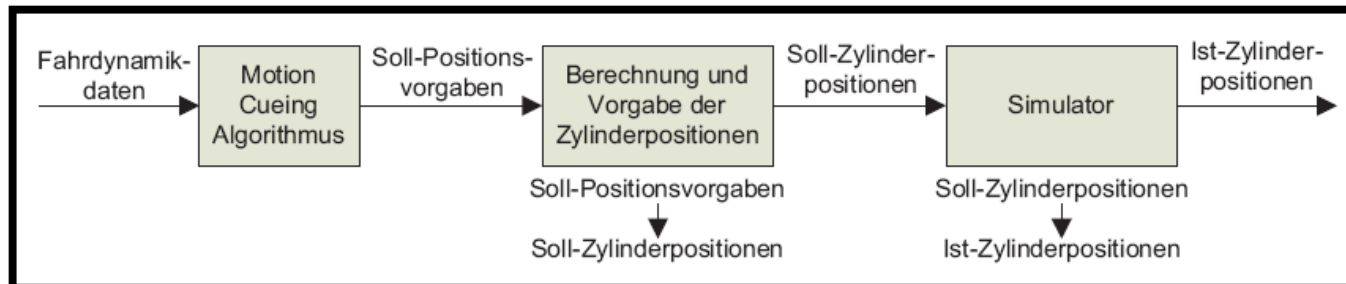
- Konsistenzprüfung bei Verwendung von Online-Parametersätzen
- Prüfung der Umschaltbedingungen für eine nichtwahrnehmbare Parametersatzumschaltung erfüllt
- Bestimmung der Umschaltperiode

3. Untersuchung der Simulatordynamik

3. Untersuchung der Simulatordynamik

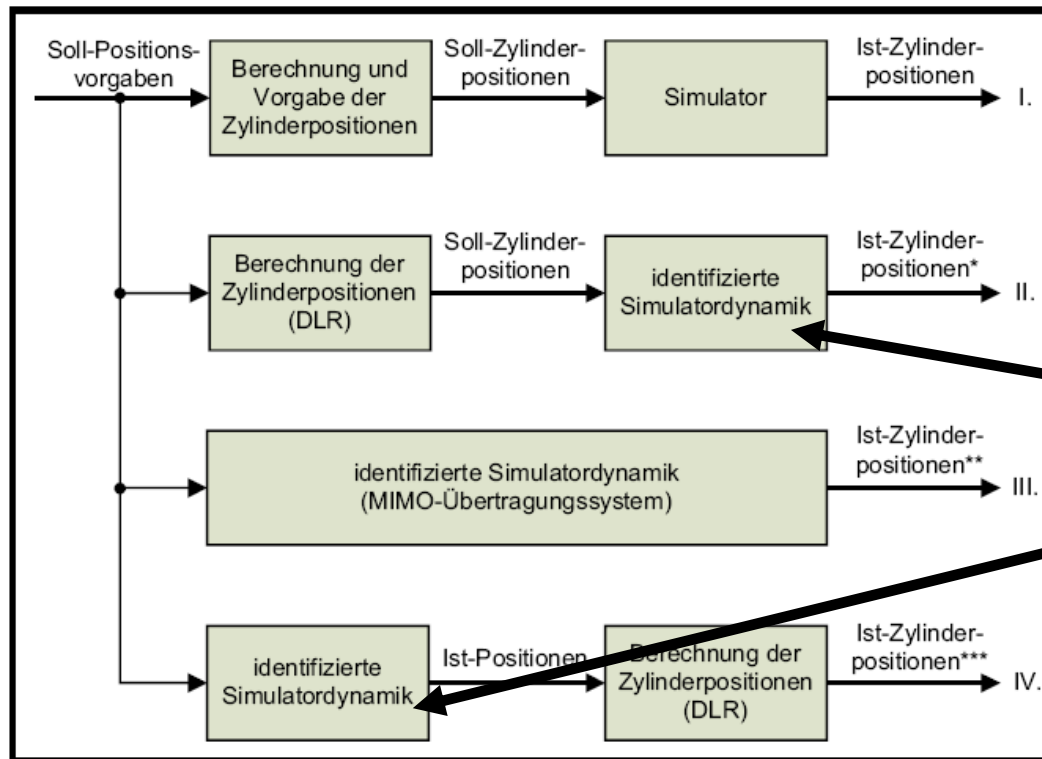
3.1 Einführung

- Die große Masse des Fahrsimulators wirkt sich negativ auf die Präsentation von Beschleunigungen im Simulator aus
 - Amplitudendämpfung der Beschleunigungssignale
 - Latenzzeiten von 300-500ms zwischen Soll- und Ist-Werten
 → Tiefpasscharakter



3. Untersuchung der Simulatordynamik

3.2 Bestimmung der Ist-Zylinderpositionen



$$G(s) = \frac{1}{0.02s^2 + 0.4s + 1}$$

3. Untersuchung der Simulatordynamik

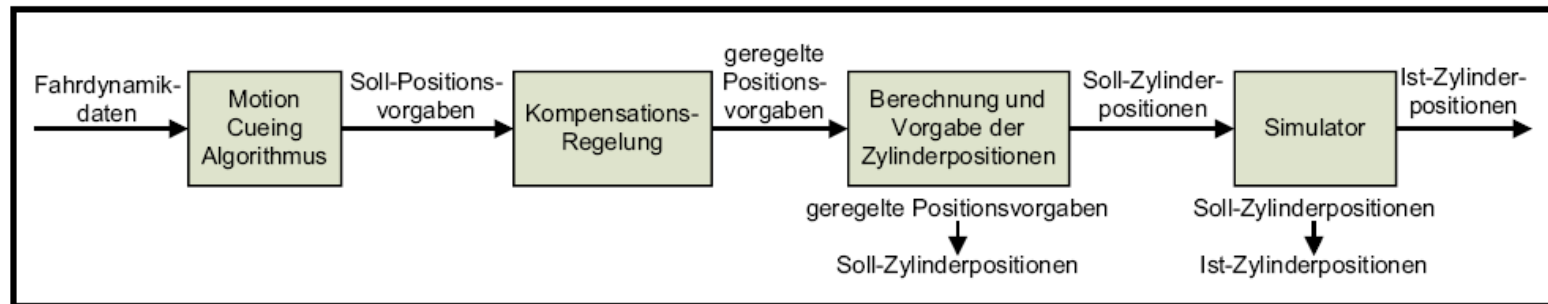
3.3 Systemidentifikation der Simulatordynamik als MIMO-Übertragungssystem

- Vorgehensweise:
 - Anregung der Simulatorplattform mit einer Sinus-Sweep-Funktion für jeden einzelnen Freiheitsgrad
 - Messung der aktuellen Ist-Zylinderpositionen
 - 6x6 Übertragungsmatrix mit PT_2 -Gliedern als Elemente der Matrix
- Liefert keine exaktere Nachbildung der Ist-Zylinderpositionen als das bereits vorgestellte SISO-Übertragungssystem mit PT_2 -Glied

3. Untersuchung der Simulatordynamik

3.4 Entwurf eines Kompensationsalgorithmus

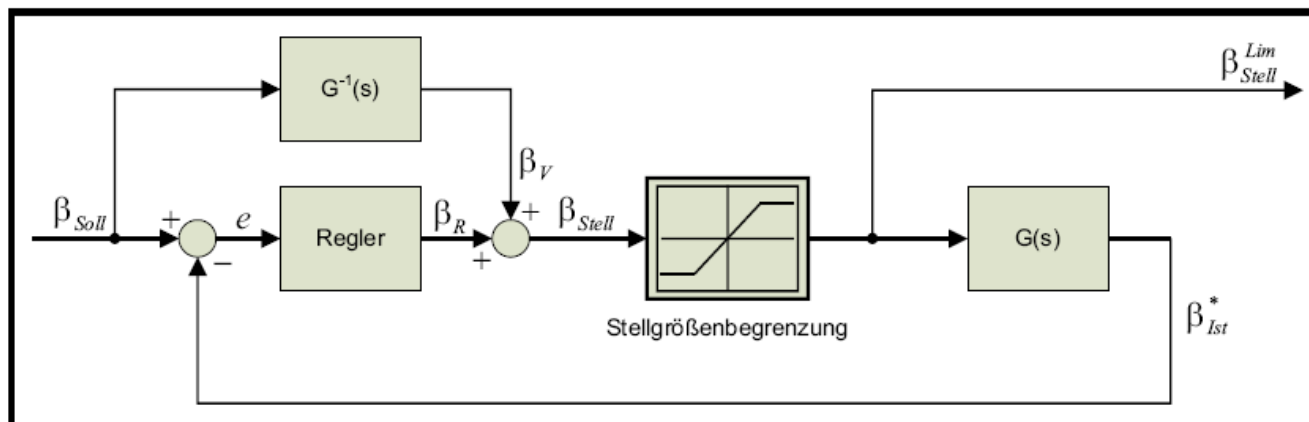
- Verringerung des Einflusses der Simulatordynamik auf die Präsentation von Beschleunigungen im Simulator
- Der Kompensationsalgorithmus muss vor der Übermittlung der Soll-Positionsvorgaben an die Bewegungssteuerung angeordnet werden



3. Untersuchung der Simulatordynamik

3.4 Entwurf eines Kompensationsalgorithmus

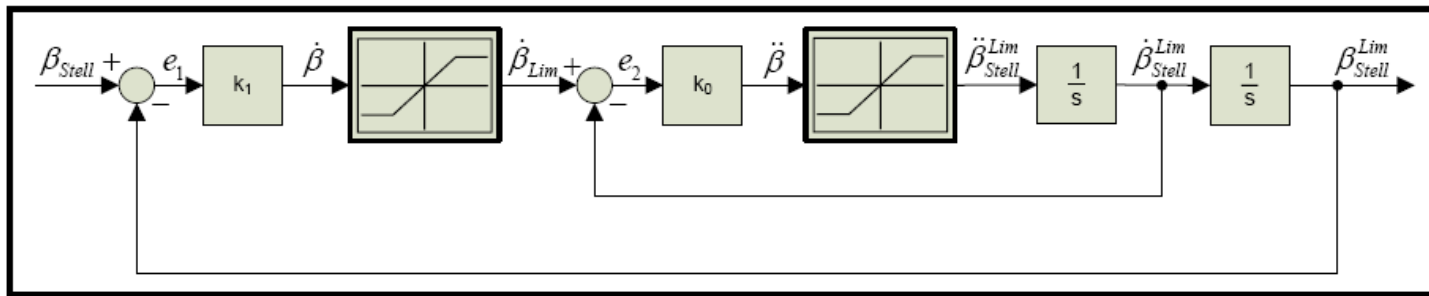
- Als Regelungsstruktur des Kompensationsalgorithmus wurde eine Vorsteuerung mit inversem Modell gewählt
- Stellgrößenbegrenzung für Geschwindigkeits- und Beschleunigungssignale notwendig



3. Untersuchung der Simulatordynamik

3.4 Entwurf eines Kompensationsalgorithmus

- PT₂-Glied mit Begrenzungsgliedern zur Stellgrößenbegrenzung



- Signale im linearen Bereich bis $f = 1.5$ Hz ohne Amplitudendämpfung und Dämpfungsfaktor $\delta > 1/\sqrt{2}$
- $k_1 = 8$ und $k_0 = 64$

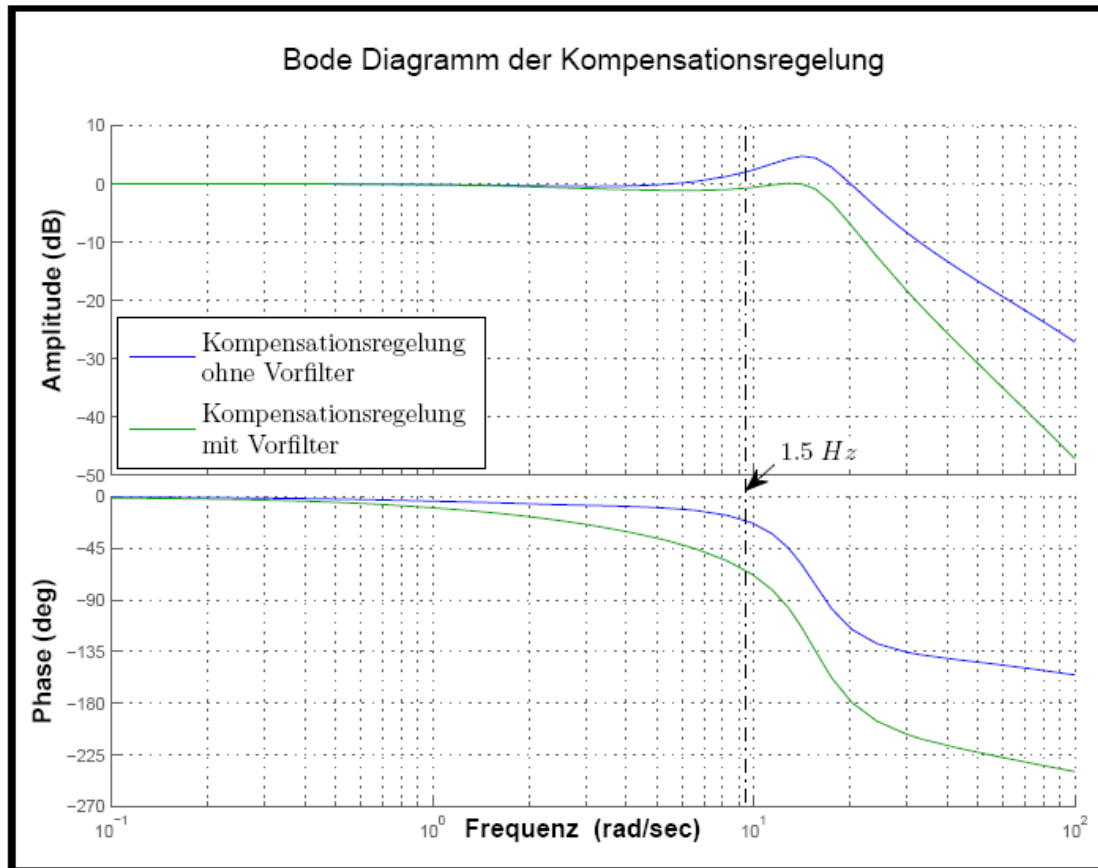
3. Untersuchung der Simulatordynamik

3.4 Entwurf eines Kompensationsalgorithmus

- Reglerentwurf am Bode-Diagramm des offenen Kreises
- Streckengenauigkeiten werden nicht berücksichtigt, da kein aktuell gemessenes Rückführsignal
- Verzicht auf I-Anteil im Regler um Phasendrehung zu minimieren und Regler Wind-Up Effekte zu vermeiden
- Forderungen an geschlossenen Kreis:
 - BIBO-Stabilität
 - Stationäre Genauigkeit
 - Kein Überschwingen bei Führungssignalsprüngen
 - Frequenzen bis 1.5 Hz ohne Amplitudendämpfung

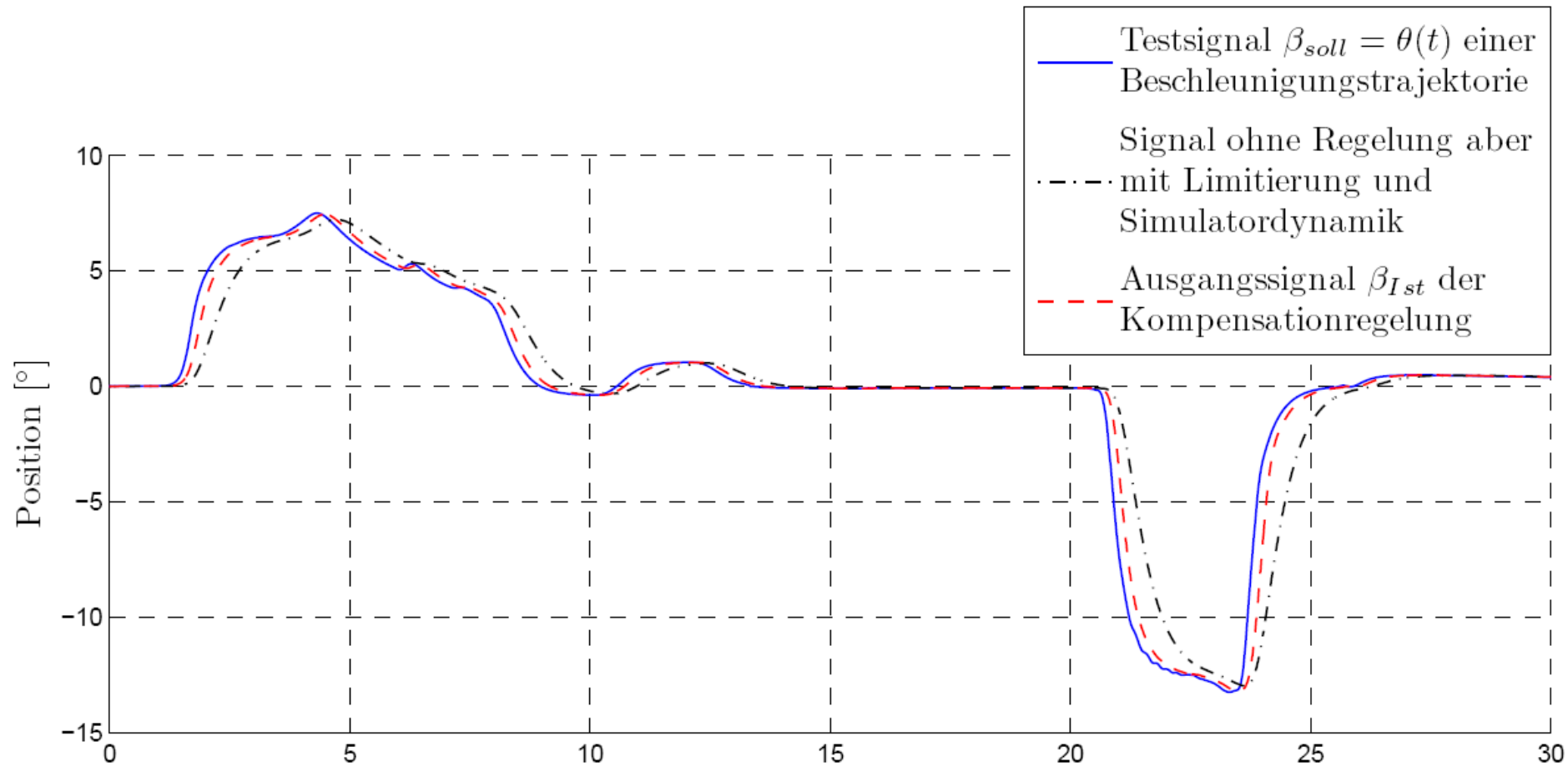
3. Untersuchung der Simulatordynamik

3.4 Entwurf eines Kompensationsalgorithmus



$$K_R(s) = 0.7 \left(1 + \frac{s}{2.93} \right)$$

$$F(s) = \frac{1}{\frac{s}{10} + 1}$$



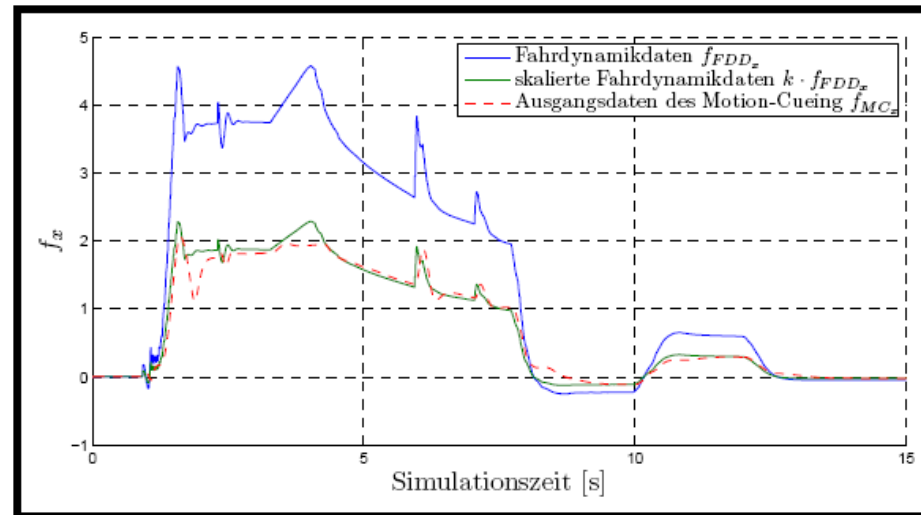
4. Kriterium zur objektiven Bewertung der Güte von Motion-Cueing- Algorithmen

4. Kriterium zur objektiven Bewertung der Güte von Motion-Cueing-Algorithmen

4.1 Einführung

- Bewertung der Güte in Präsentation von \underline{a} und $\underline{\omega}$
- Unterscheidung zwischen Skalierungsfehler und Fehler in der Kurvenform für
- Im Weiteren nur noch Betrachtung des Fehlers in der Kurvenform

→ Konstante Skalierungsfaktoren
 $k = 0.5$



4. Kriterium zur Bewertung der Güte von Motion-Cueing-Algorithmen

4.2 Bestimmung der Teilindikatoren

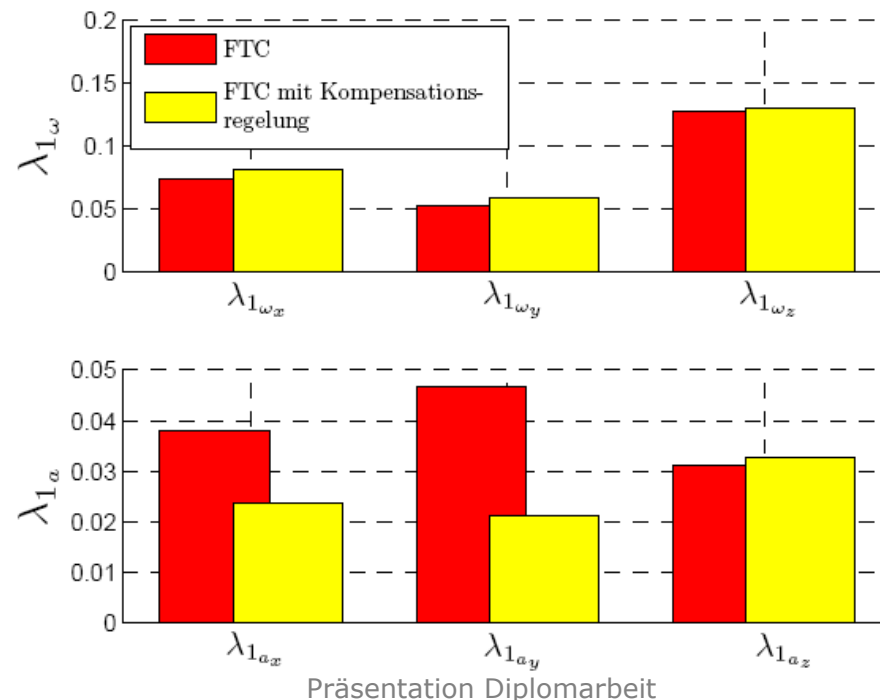
- Einführung von 6 Teilindikatoren zur Beschreibung der Güte des MCA in jedem Freiheitsgrad
- Trajektorienspezifische Normierungsfaktoren

$$\underbrace{\left[\frac{1}{a_{norm}} \cdot \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N |\Delta a_{x_j}| \right]}_{\lambda_{1a_x}} \quad \text{mit } \Delta a_i = k \cdot a_{FDD_i} - a_{MC_i} \quad |i \in \{x, y, z\}$$

4. Kriterium zur Bewertung der Güte von Motion-Cueing-Algorithmen

4.3 Anwendung des Kriteriums auf den FTC

- Vergleich des FTC ohne und mit Kompensationsalgorithmus am Beispiel einer Fahrt durch einen Kreisverkehr



5. Ausblick

5. Ausblick

- Tuning der FTC-Parametersätze für Einsatz mit Kompensationsregelung
- Mit Kompensationsalgorithmus und dem Zustandsautomaten zur Fahrsituationsbestimmung wurde eine fahrsituationsabhängige Straßenrauhigkeit implementiert
- Durch Kompensationsregelung wird die Amplitudendämpfung verringert und der Arbeitsraum des Simulators wird besser ausgenutzt
 - ➔ Vorpositionierung der Simulatorplattform

