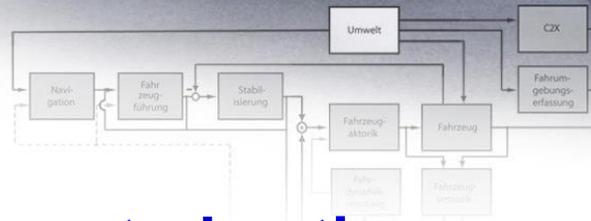
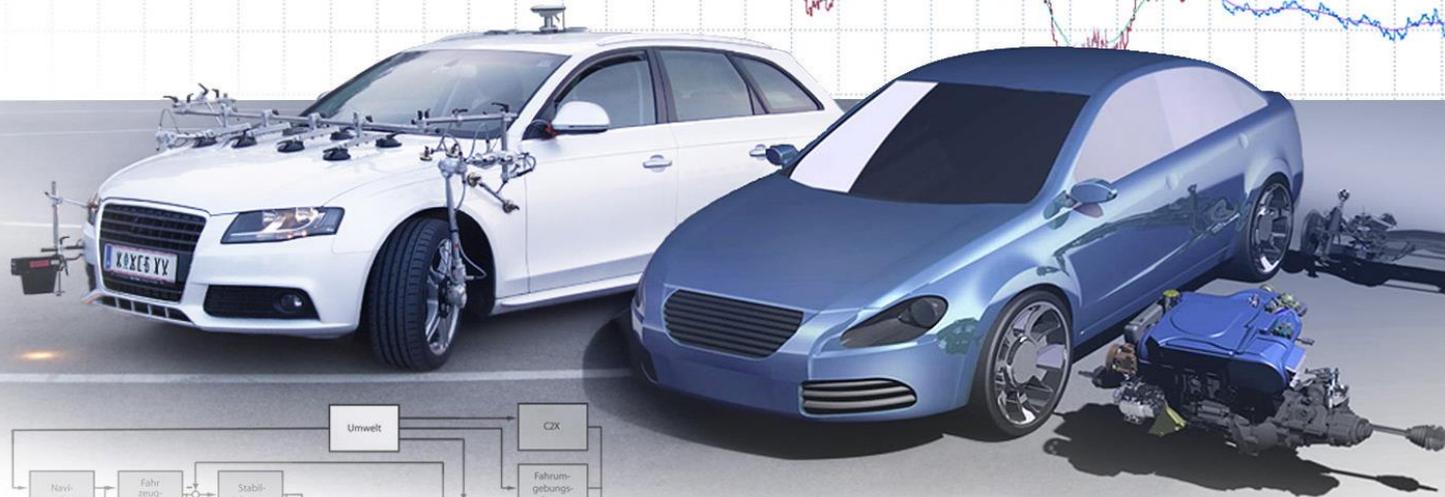


$$\omega = \frac{v}{r} (1 + s_B) = \frac{v}{r} s^*$$



## Parameterbestimmung – *Limitierender Faktor für Fahrzeugregelsysteme der Zukunft ?*

Vortragender: Martin Schabauer

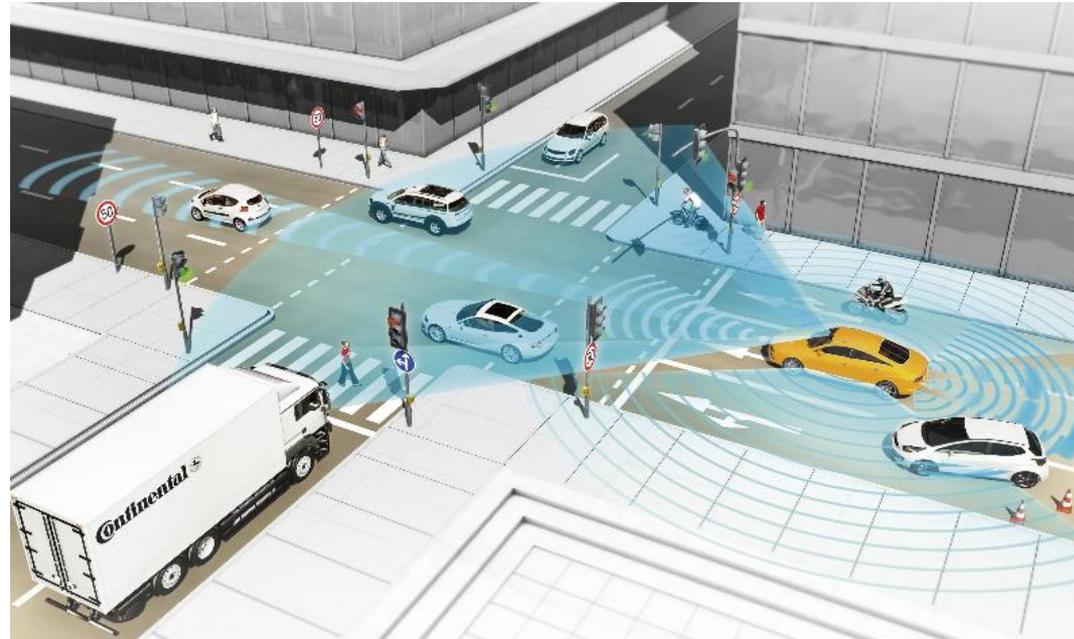
Mitwirkende: Andreas Hackl, Cornelia Lex, Liang Shao, Paul Freimüller

14. ÖAMTC Symposium – Reifen und Fahrwerk

# Am Anfang war das Rad...

## ...Vision automatisiertes und autonomes Fahren

- Aktuell trägt Fahrzeuglenker die Verantwortung, die Kontrolle über das Fahrzeug in teilweise sehr komplexen Fahrsituationen zu haben
- Mit steigender Automatisierung geht Verantwortung vom Fahrer auf Systeme im Fahrzeug über



(Continental AG, 2016)

### Fazit:

- Systeme müssen in immer komplexeren Fahrsituationen eingreifen können
- hohe Regler-Genauigkeit erforderlich
- **Fahrzeugparameter müssen ausreichend genau bekannt sein**

# Agenda



$$\omega = \frac{v}{r} (1 + s_B) = \frac{v}{r} s^*$$

- Was sind Fahrzeugregelsysteme der Zukunft?
- Welche Parameter sind essenziell für die Regelung?
- Wie können Parameter bestimmt werden?
- Was wenn die Anzahl der Parameter variiert?
- Zusammenfassung

# Agenda

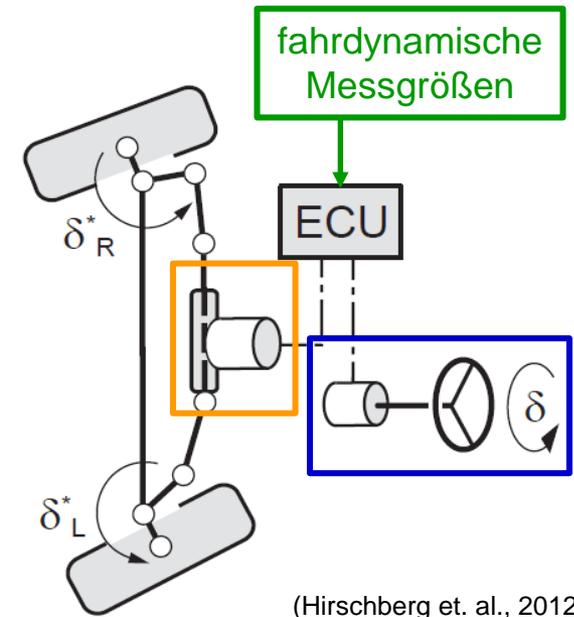


- Was sind Fahrzeugregelsysteme der Zukunft?
- Welche Parameter sind essenziell für die Regelung?
- Wie können Parameter bestimmt werden?
- Was wenn die Anzahl der Parameter variiert?
- Zusammenfassung

# Fahrzeugregelsysteme der Zukunft

**Beispiel: Steer-by-Wire** (Pfeffer et. al., 2013)

- Lenkbefehl bzw. Fahrerwunsch  $\delta$  wird über Bedienelement (z.B. Lenkrad) elektrisch an Aktuator geleitet → *Eingabemodul*
- Aktuator führt Lenkbefehl aus → *Lenktriebemodul*



- Beide Module über Rechner (ECU) mit **Referenzmodell** geregelt
- *Steer-by-Wire*-Daten und **fahr-dynamische Messgrößen** als Input

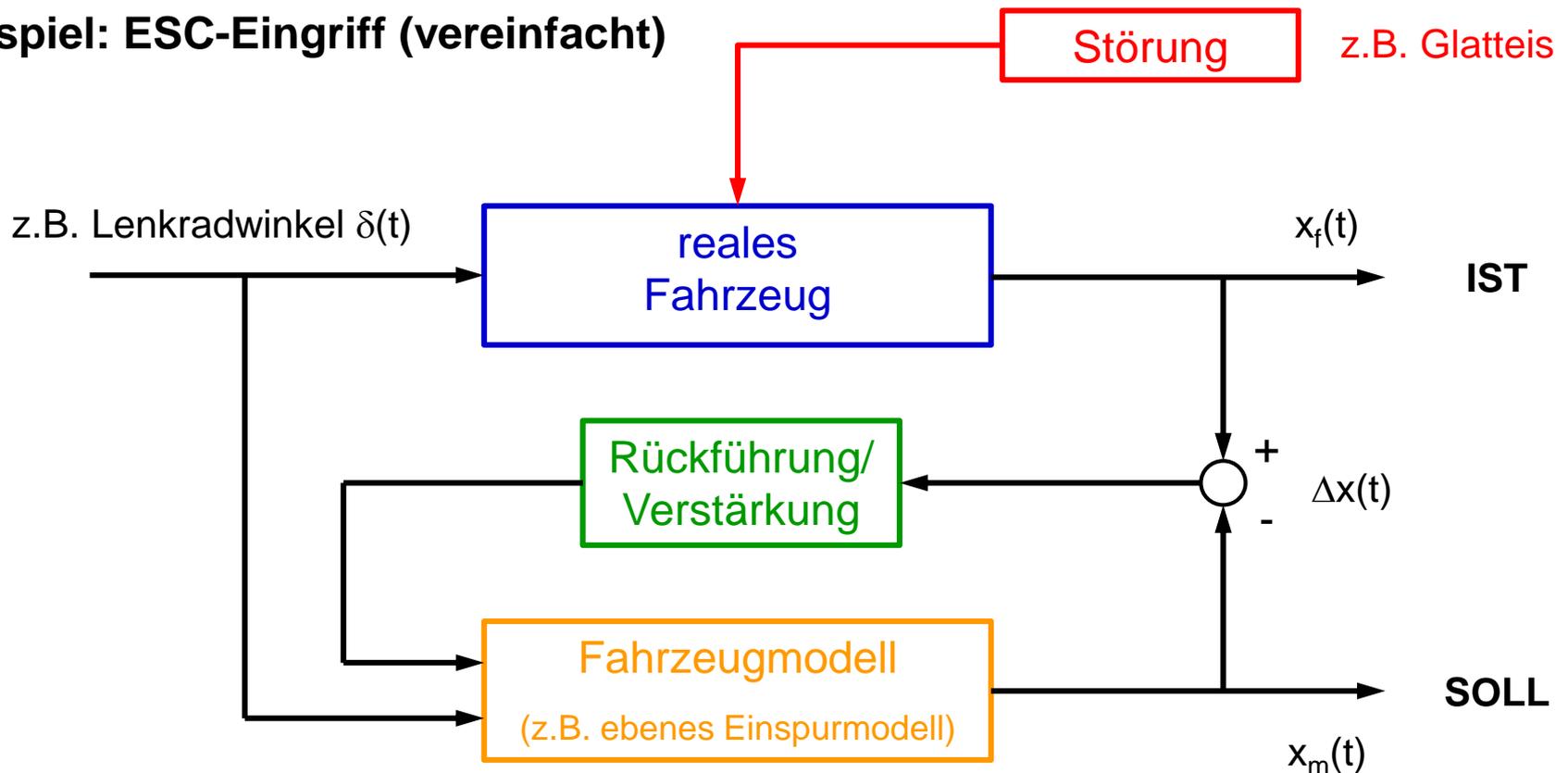
Einfachere Realisierung v. Zusatzfunktionen:

- **Fahrdynamikstabilisierung** (z.B. ESC mit Kombination von Brems- und Lenkeingriff)
- Ermöglichung von **Fahrerassistenzsystemen (FAS)** und **autonomen Fahren**

→ *Jeder Fehler des Systems muss v. Fahrer in jeder Fahrsituation beherrschbar sein !!*

# Prinzip der Zustandsbeobachtung

Beispiel: ESC-Eingriff (vereinfacht)



Problemstellungen:

- Welche Systemparameter müssen bekannt sein?
- Wie können diese Parameter bestimmt bzw. geschätzt werden?



# Typische Fahrzeugparameter

## Beispiele:

- Fahrzeugmasse  $m$
- Gierträgheitsmoment  $I_z$
- Reifen-Schräglaufsteifigkeit  $c_\alpha$
- Lenkungssteifigkeit  $c_L$
- Position des Schwerpunkts
- Position Wankpol/Nickpol
- Fahrwerksfeder und -dämpfer
- :



(ÖAMTC, 2016)

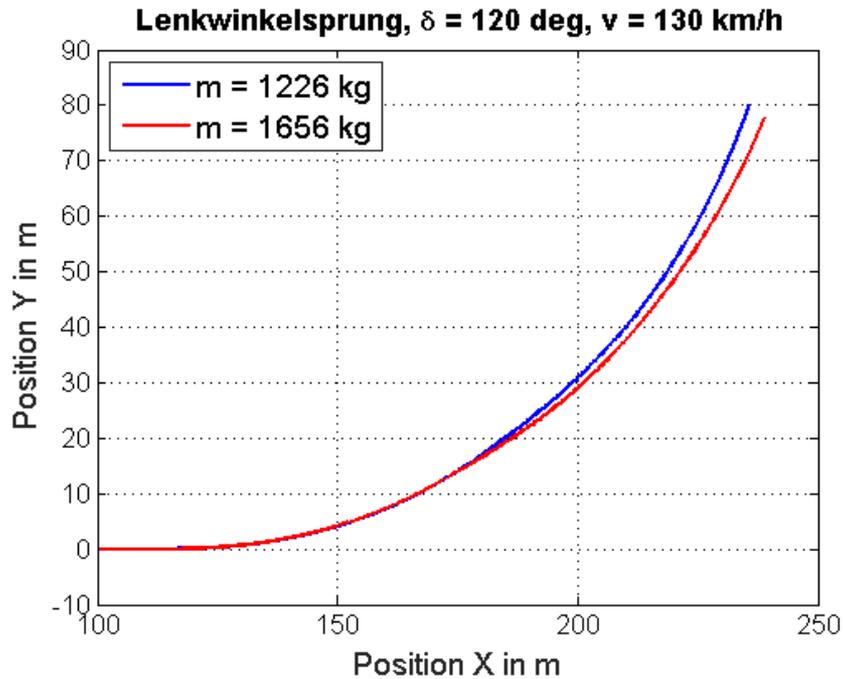
→ Welche Parameter sind für Regelsysteme relevant?

→ **Welchen Einfluss haben Parameter auf Fahrdynamik?**

# Einfluss der Parameter

Beispiel:

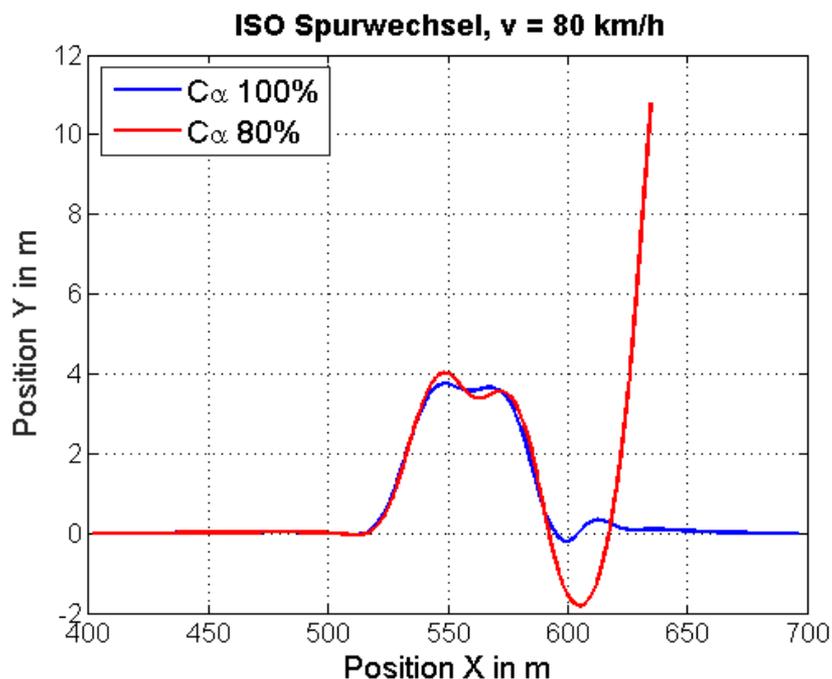
→ Fahrzeugmasse  $m$



# Einfluss der Parameter

Beispiel:

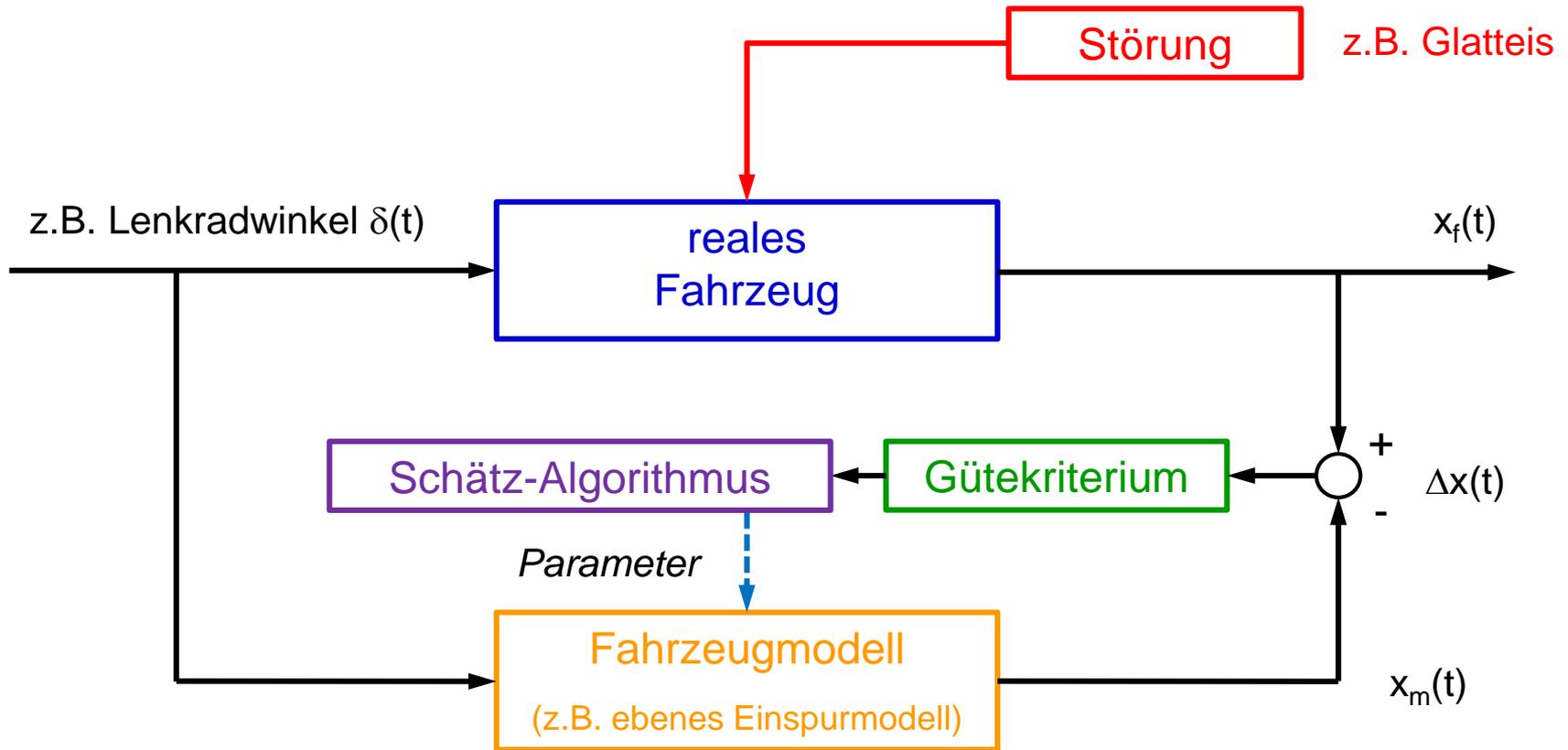
→ **Reifen-Schräglaufsteifigkeit  $C_\alpha$**



→ **Reifen hat essenziellen Einfluss auf Fahrverhalten und Fahrstabilität !!**



# Prinzip der Systemidentifikation



→ *Schätz-Algorithmus* variiert Werte der Modellparameter bis *Gütekriterium* erfüllt ist

# Parameterschätzung

## 1) Offline-Parameterschätzung

### Deterministische Optimierung:

- *Liniensuchverfahren*
- *Trust-Region-Verfahren*
- *Quadratische Programmierung*
- *Augmented-Lagrangian-Verfahren*
- :



### Pros

- Geringer Rechenaufwand
- Schnelle Konvergenzgeschwindigkeit

### Cons

- Findet möglicherweise nur lokales Optimum

### Stochastische Optimierung:

- *Evolutionäre Algorithmen*
- *Schwarm Algorithmen*
- *Simulated Annealing Algorithmen*
- :



- Findet globales Optimum

- Hoher Rechenaufwand
- Langsame Konvergenzgeschwindigkeit

# Parameterschätzung

## 2) Online-Parameterschätzung

### Lineares System:

- *Recursive-Least-Squares*
- *Kalman-Filter*



- Pros**
- Optimale Schätzung
  - Robust gegen Unsicherheiten und Rauschen

- Cons**
- Relativ hoher Rechenaufwand

- *Adaptive Beobachter*
- :



- Pros**
- Geringer Rechenaufwand

- Cons**
- Relativ empfindlich gegen Unsicherheiten und Rauschen

### Nichtlineares System:

- *Nichtlineare adapt. Beobachter*
- *Nichtlineare Least-Squares*
- *Erweiterter Kalman-Filter*
- *Partikel Filter*
- :



- Pros**
- Stabilität garantiert
  - Geringer Rechenaufwand

- Cons**
- Relativ empfindlich gegen Unsicherheiten und Rauschen



- Pros**
- Robust gegen Unsicherheit und Rauschen

- Cons**
- Stabilität nicht garantiert
  - Relativ hoher Rechenaufwand

# Schätzung von Reifen-Parametern

## Beispiel: Schräglaufsteifigkeit

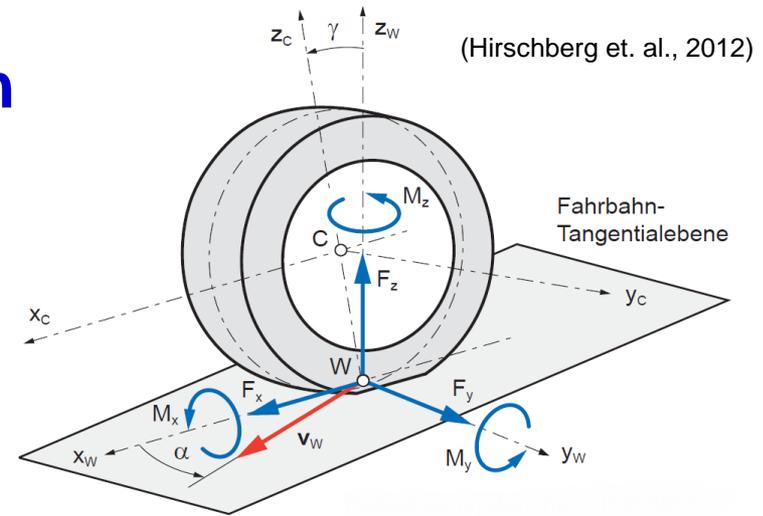
→ Physikalischer Parameter zur Beschreibung der **Reifen-Seitenkraft  $F_y$**

→ **Anfangssteigung** des charakteristischen Verlaufs der Seitenkraft

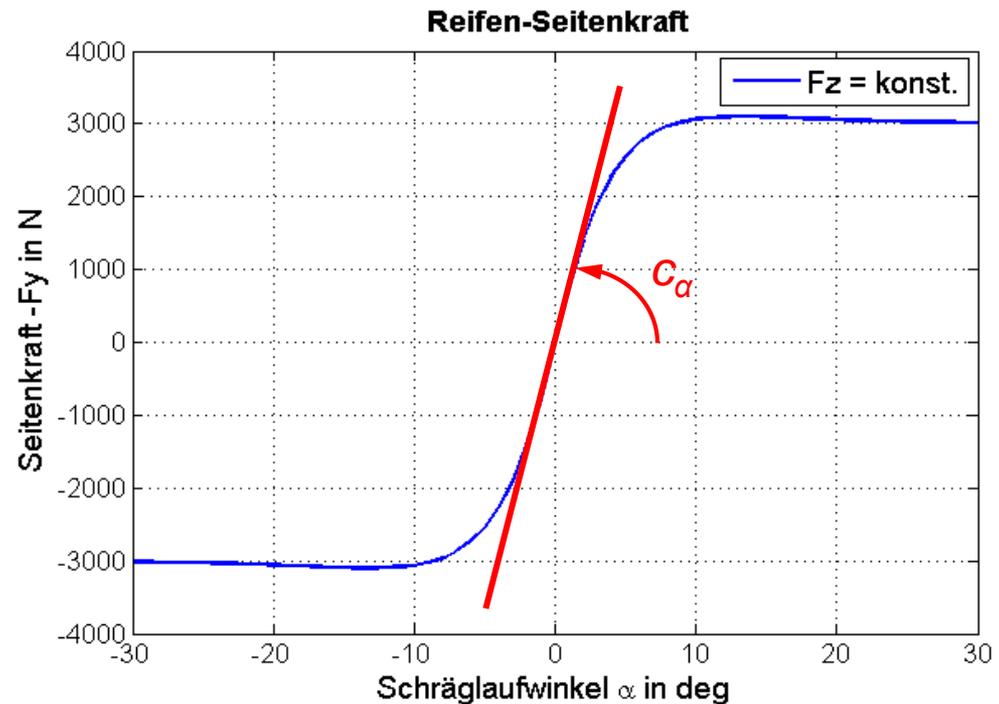
$$c_\alpha = \left. \frac{\partial F_y}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=0}$$

Lineares Reifenmodell:

$$F_y = -c_\alpha \alpha$$



(Hirschberg et. al., 2012)



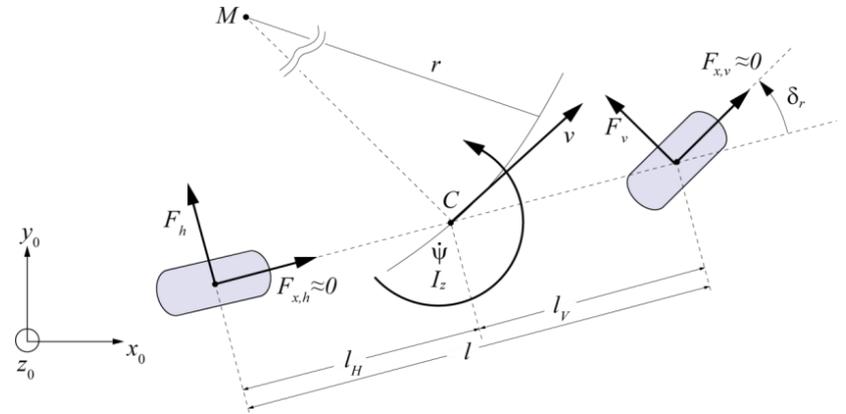
# Schätzung der Schräglaufsteifigkeit

→ Mathematische Beschreibung von Fahrzeug und Reifen erforderlich

Referenzmodelle:

→ Ebenes Einspurmodell

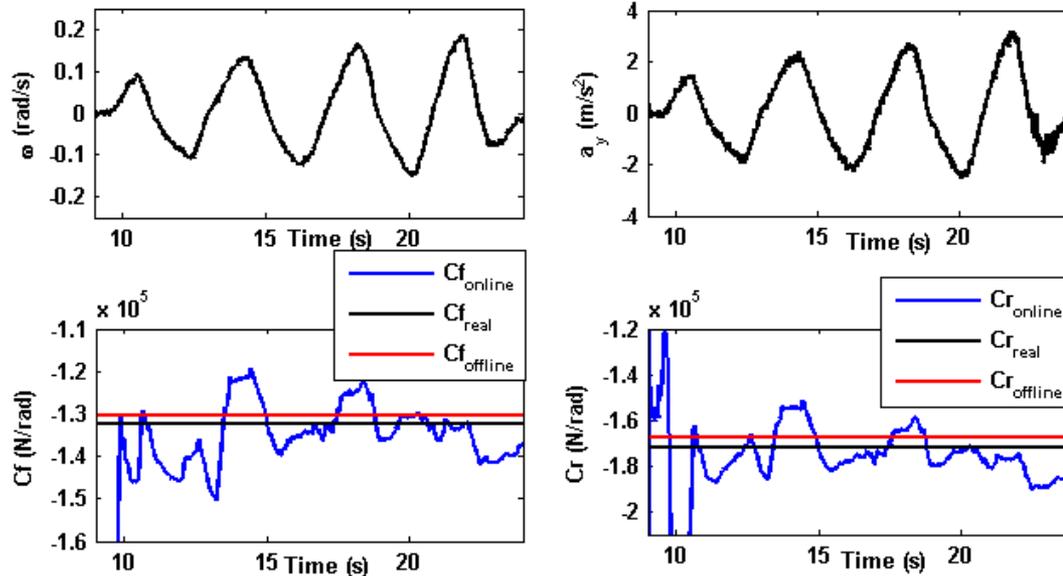
→ Lineares Reifenmodell



$$m (l_v + l_h) a_y X_1 + (l_v + l_h) \left( -\delta_r + \frac{(l_v + l_h) \omega_z}{v_x} \right) X_2 = m l_h a_y + I_z \dot{\omega}_z$$

$$\begin{cases} c_{\alpha v} = \frac{X_2}{1 - X_1} = C_f \\ c_{\alpha h} = \frac{X_2}{X_1} = C_r \end{cases}$$

# Schätzung der Schräglaufsteifigkeit



## Vergleich der Schätzungsmethoden:

- **Online-Schätzungs-Algorithmen** schätzen Modellparameter während des Fahrbetriebs, wenn neue Daten zur Verfügung stehen
- Bei **Offline-Schätzung** werden zuerst alle Input/Output Daten gesammelt, erst danach erfolgt die Schätzung der Parameter
- Im Gegensatz zur **Offline-Schätzung** können Werte der Parameter bei **Online-Schätzung** mit der Zeit variieren

→ Nur wenn **Offline-** nicht ausreicht, kommt **Online-Schätzung** zur Anwendung

# Agenda



- Was sind Fahrzeugregelsysteme der Zukunft?
- Welche Parameter sind essenziell für die Regelung?
- Wie können Parameter bestimmt werden?
- Was wenn die Anzahl der Parameter variiert?
- Zusammenfassung

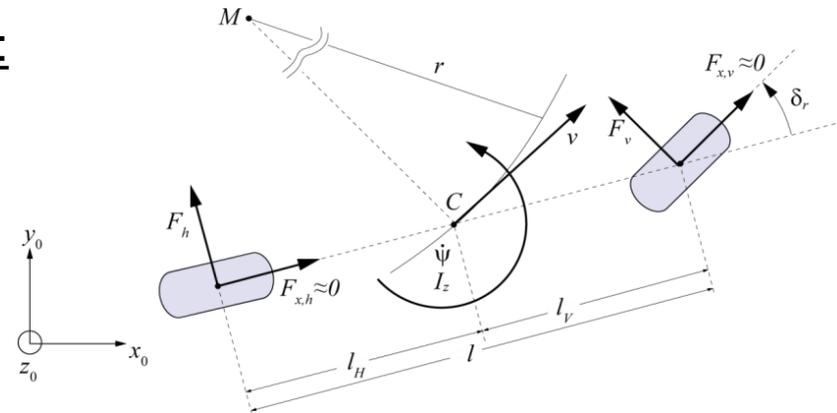
# Variable Anzahl der Optimierungsparameter

## Beispiel: ebenes, lineares Einspurmodell

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_{\alpha v} + c_{\alpha h}}{m \cdot v_x} & \frac{-c_{\alpha v} \cdot l_v + c_{\alpha h} \cdot l_h}{m \cdot v_x^2} - 1 \\ \frac{-c_{\alpha v} \cdot l_v + c_{\alpha h} \cdot l_h}{I_z} & \frac{c_{\alpha v} \cdot l_v^2 + c_{\alpha h} \cdot l_h^2}{I_z \cdot v_x} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_{\alpha v}}{m \cdot v_x} \\ \frac{c_{\alpha v} \cdot l_v}{I_z} \end{bmatrix} \cdot \delta_r$$

→ Mögliche unbekannte/ungenau Parameter:

- 1.) Fahrzeugmasse  $m$
- 2.) Schräglaufsteifigkeit  $c_{\alpha}$
- 3.) Gierträgheitsmoment  $I_z$

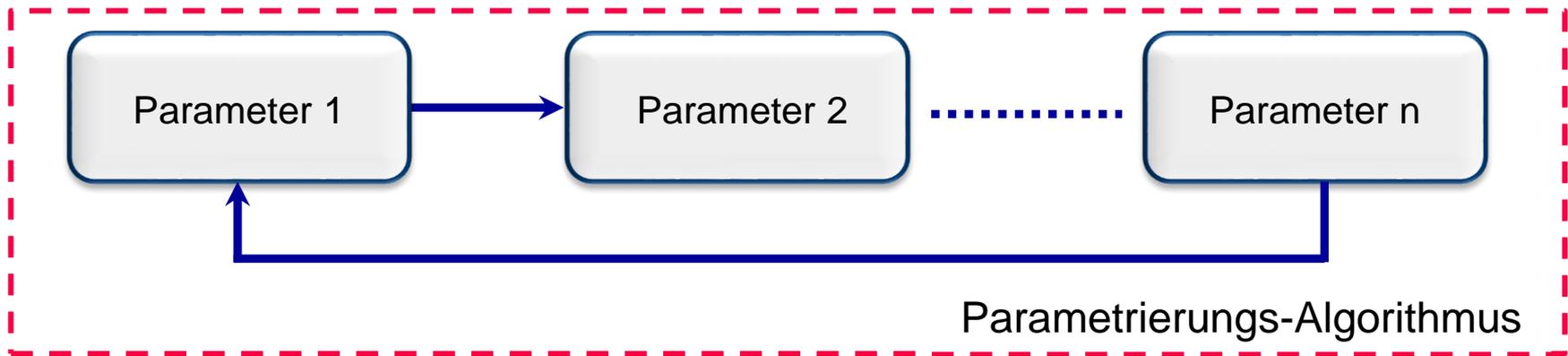


Neue Problemstellungen:

- a.) Wie beeinflussen sich die Parameter gegenseitig?
- b.) Wie kann ich mit meiner Optimierungs- bzw. Parameterfindungs-Strategie darauf reagieren?

# Variable Anzahl der Optimierungsparameter

## 1.) Serielle Parametrierung

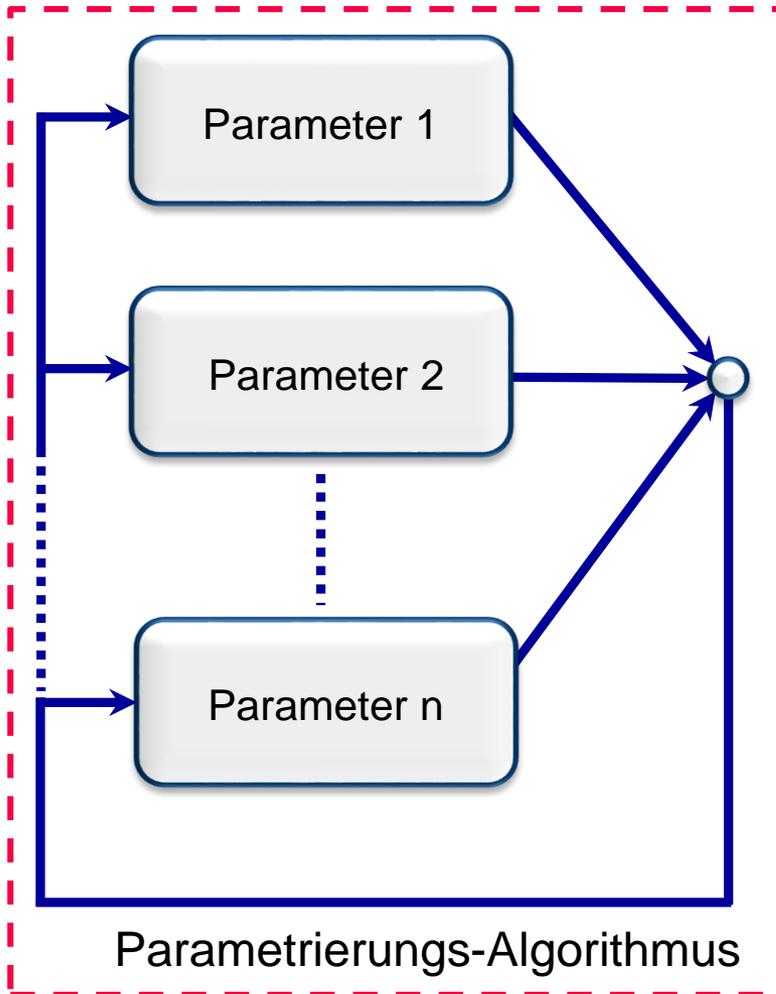


### Eigenschaften/Fragestellungen:

- Wichtigkeiten, Reihenfolge und Häufigkeiten der Parametrierung?
- Einfache (einzelne) Optimierungsstrategien, da jeweils nur 1 Parameter
- Lange Optimierungsdauer (Einpendler der Parameter möglich)
- :

# Variable Anzahl der Optimierungsparameter

## 2.) Multikriterielle Parametrierung



### Eigenschaften/Fragestellungen:

- Wichtigkeiten, Reihenfolge und Häufigkeiten der Parametrierung?
- Komplexe (meist nichtlineare) Optimierungsstrategie notwendig
- Kurze Optimierungsdauer (hier stellt sich aber auch die Frage ob dies überhaupt von Nutzen ist)
- :

→ **Alternative:** Mögliche Kombination der zwei vorgestellten Methoden

# Agenda



- Was sind Fahrzeugregelsysteme der Zukunft?
- Welche Parameter sind essenziell für die Regelung?
- Wie können Parameter bestimmt werden?
- Was wenn die Anzahl der Parameter variiert?
- Zusammenfassung

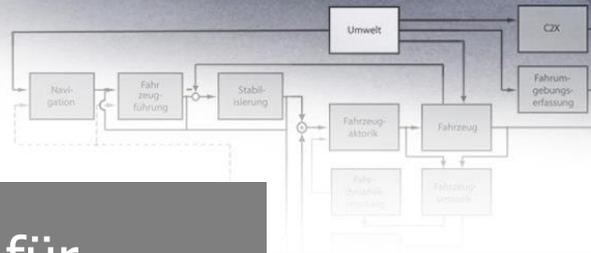
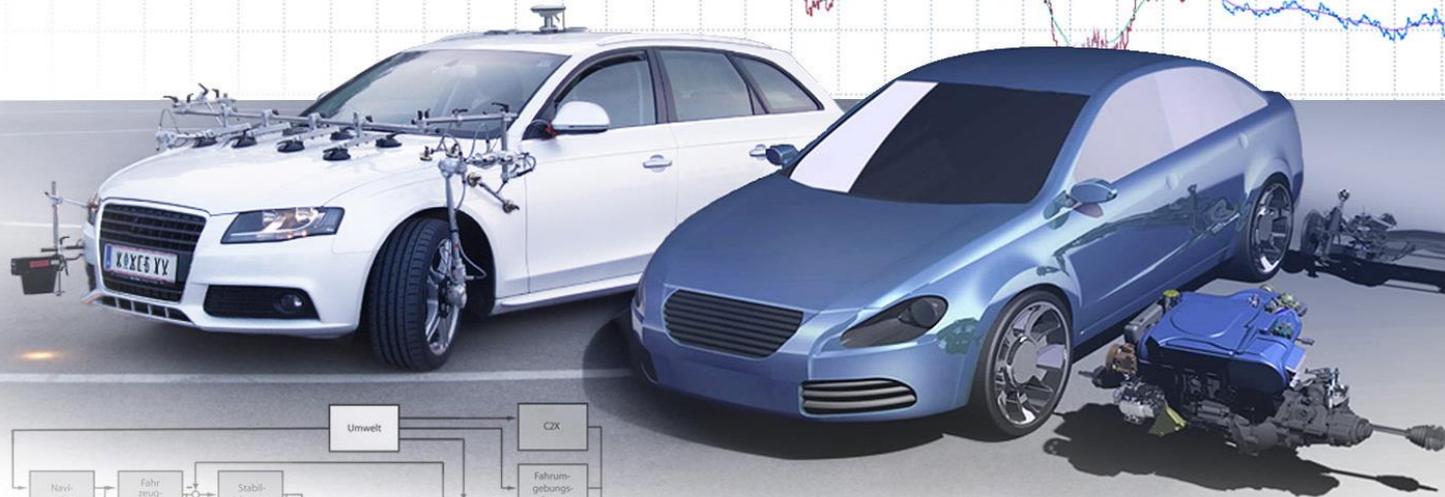
## Zusammenfassung

- Die Leistungsfähigkeit von Regelsystemen hängt von der Kenntnis des zu regelnden Systems ab, in diesem Fall dem Fahrzeug
- Genauigkeit der Systemparameter ist ausschlaggebend
- **Fahrzeugparameter** haben großen Einfluss auf **Fahrdynamik** und **-stabilität**
- Einige Parameter ändern sich im Betrieb
  - z.B. *Fahrzeugmasse* und *Reifeneigenschaften*
- Verschiedene **mathematische Methoden** zur Ermittlung dieser Eigenschaften mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen
- Teilweise gute Ergebnisse, aber noch **Forschungsbedarf** für die Anwendung in Regelsystemen (z.B. für autonomes Fahren)
  - *Genauigkeit, Robustheit unter allen Fahrbedingungen...*

### Parameterbestimmung...

*Limitierender Faktor ? Aufwendige Spielerei ? Notwendiges Übel ?*

$$\omega = \frac{v}{r} (1 + s_B) = \frac{v}{r} s^*$$



Danke für  
Ihre  
Aufmerksamkeit !

Graz University of Technology  
Institute of Automotive Engineering

Member of [FSI]  
Inffeldgasse 11/2  
8010 Graz, Austria

Tel.: +43 316 873 35201  
Fax: +43 316 873 35202

E-Mail: [office.ftg@tugraz.at](mailto:office.ftg@tugraz.at)  
Web: <http://www.ftg.tugraz.at>

## Bibliographie

- **Continental AG. (2016).** Online verfügbar: [http://www.continental-corporation.com/www/linkableblob/presseportal\\_com\\_de/8716502/data/automated\\_driving\\_umfeld\\_de-data.jpg](http://www.continental-corporation.com/www/linkableblob/presseportal_com_de/8716502/data/automated_driving_umfeld_de-data.jpg) [25.08.2016]
- **Hirschberg, W. & Waser, H. M. (2012).** *Kraftfahrzeugtechnik*. Skriptum zu den Vorlesungen Kraftfahrzeugtechnik I und Kraftfahrzeugtechnik II, Institut für Fahrzeugtechnik – FTG, Technische Universität Graz, AT.
- **ÖAMTC (2016).** Online verfügbar: <http://www.oeamtc.at> [14.09.2016]
- **Pfeffer, P. & Harrer, M. (2013).** *Lenkungsbandbuch*. Wiesbaden, DE: Springer Vieweg.