



Erweiterung eines Verfahrens zur automatisierten Parameteridentifikation eines Fahrzeugmodells

Sebastian Wildfeuer

Themenübersicht

- ↗ Ausgangssituation, Motivation und Lösungsidee
- ↗ Programme und Werkzeuge
- ↗ Methoden
- ↗ Sensibilitätsanalyse
- ↗ Systemidentifikation
- ↗ Ergebnisse



Ausgangssituation, Motivation und Lösungsidee

Ausgangssituation und Motivation

Die Hilfsmittel des Instituts für Verkehrssystemstechnik

- Dynamischer Fahrsimulator zum Testen von Fahrassistentensystemen
 - Hexapod-System
 - 1,3 Tonnen Nutzlast
 - Komplett integriertes Fahrzeug
 - 270° x 40° Bildgebungssystem
 - Fahrdynamiksimulation durch CarSim



Ausgangssituation und Motivation

Die Hilfsmittel des Instituts für Verkehrssystemtechnik

- Das ViewCar (Messfahrzeug) zur Aufnahme von ...
 - der Blickrichtung des Fahrers
 - physiologischen Daten
 - fahrzeugspezifischen Daten
 - dem Lenkradwinkel
 - der Verkehrssituation
 - der Fahrzeugposition



Ausgangssituation und Motivation

Die Grundidee

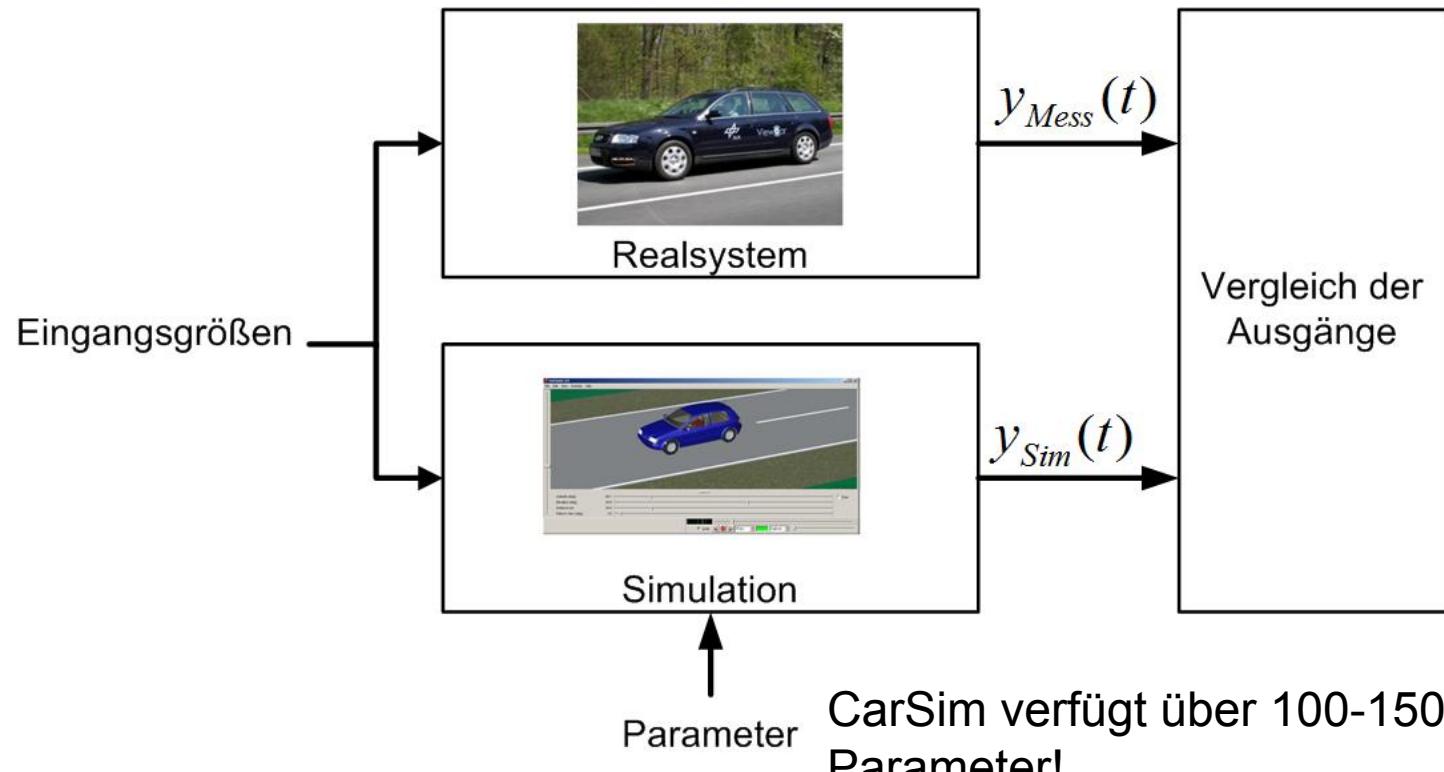
- Abbildung des ViewCar's in der Fahrsimulation?



Ausgangssituation und Motivation

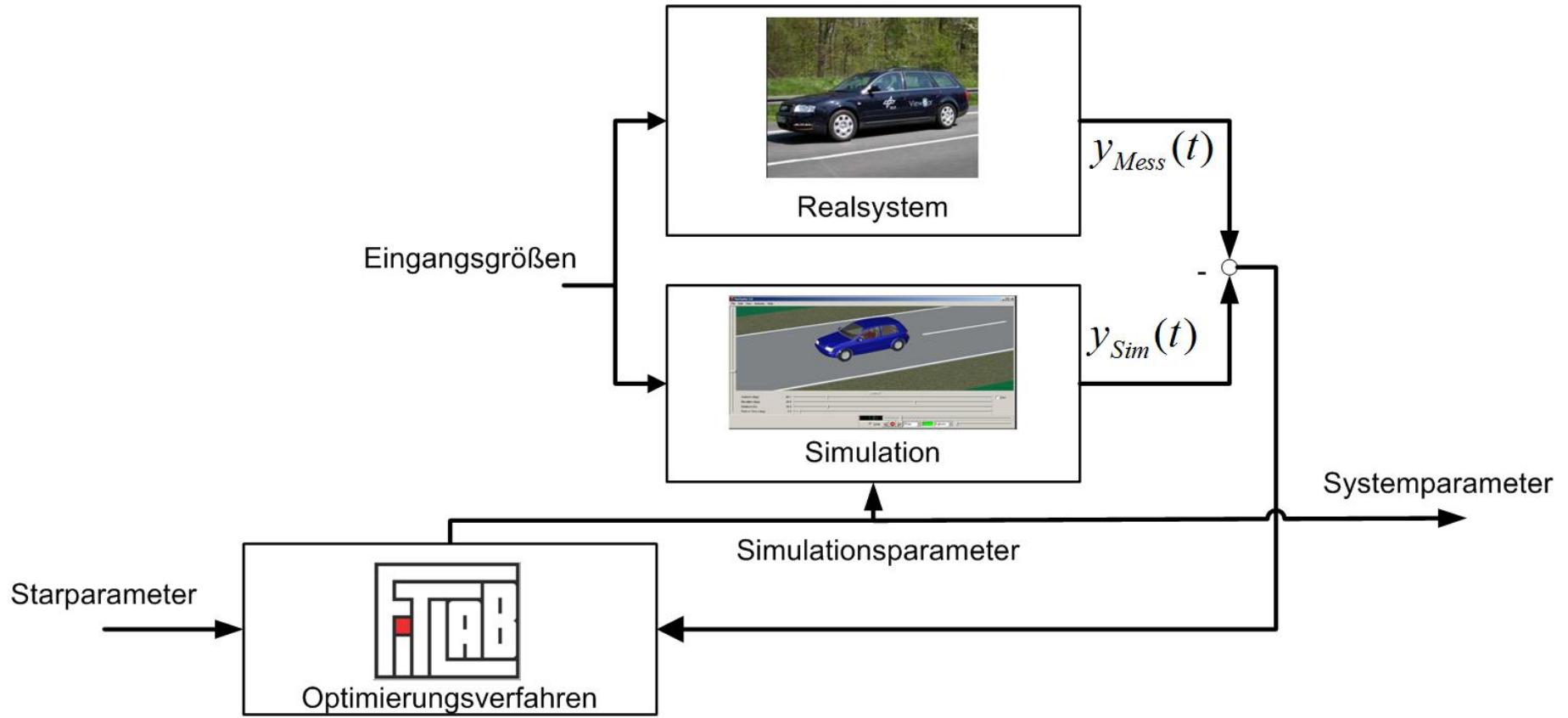
Die Problemstellung

- Welche Parametrierung bringt die Simulationssoftware dazu sich so zu Verhalten wie das reale Fahrzeug?



Lösungsidee

Parameteridentifikation über einen Optimierungsprozess



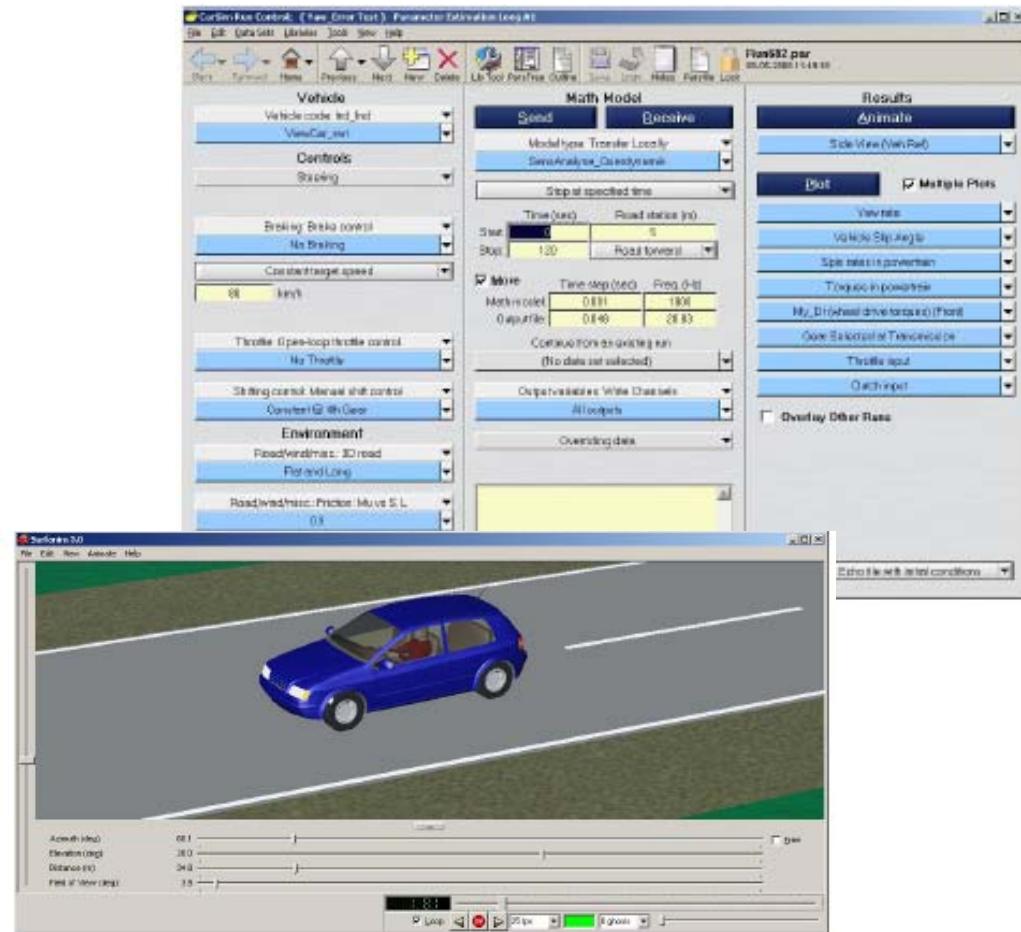


Die Programme und Werkzeuge

Die Programme und Werkzeuge

CarSim

- Kommerzielle Fahrdynamik-Simulationssoftware von Mechanical Simulation
- Parametrierung von Fahrzeugmodellen durch 100-150 Parameter
- Berechnung von mehreren hundert Ausgangsgrößen



Die Programme und Werkzeuge

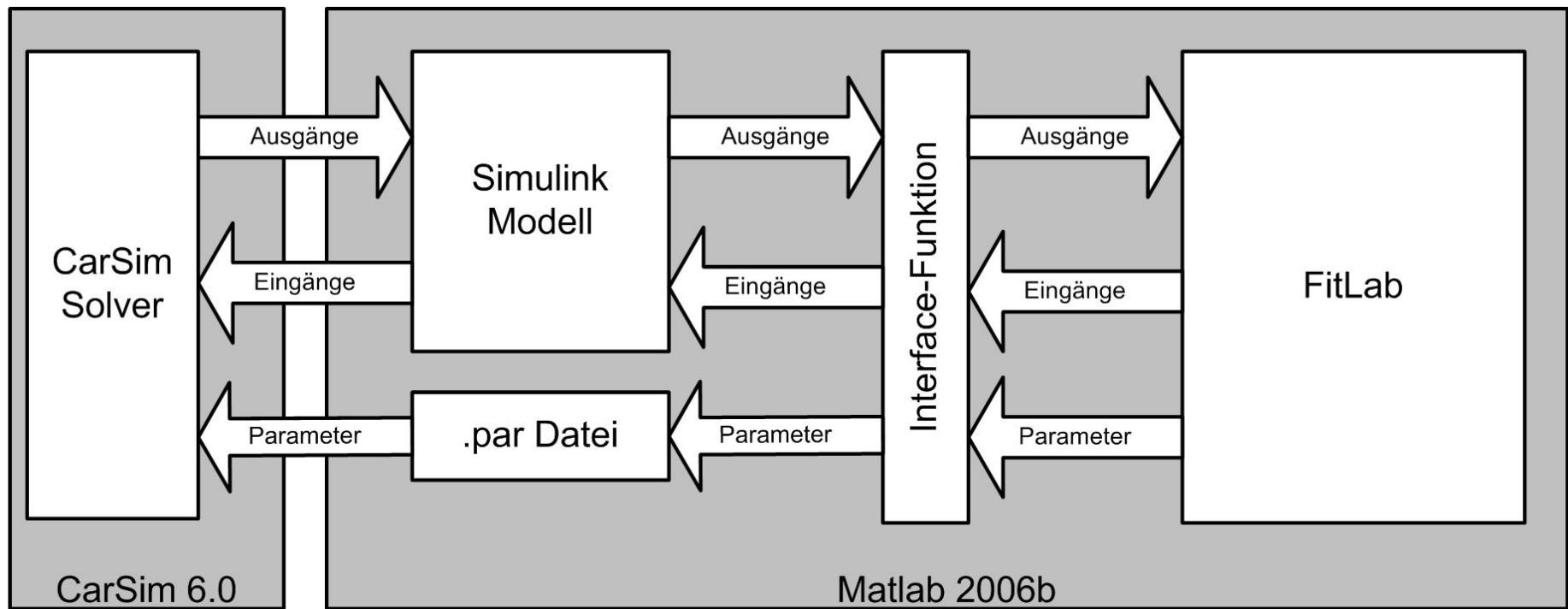
FitLab

- Eine Matlab-Toolbox des Instituts für Flugsystemtechnik des DLR in Braunschweig zur Identifikation von Parametern über ein Optimierungsprozess
- In der Toolbox sind die nachfolgend vorgestellten mathematischen Verfahren implementiert



Die Programme und Werkzeuge

Das Gesamtsystem



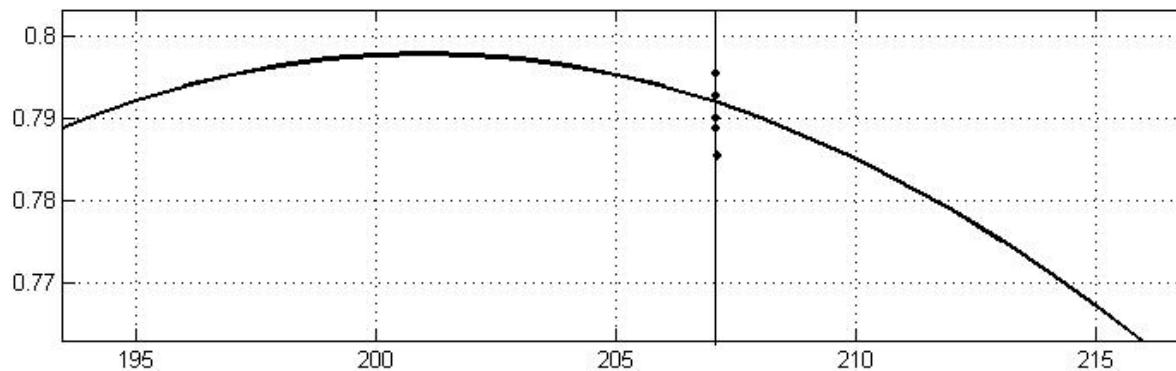


Die Methoden

Methoden

Kostenfunktion

- Die Kostenfunktion bewertet die Ähnlichkeit zwischen Mess- und Simulationsdaten
- Stochastisch verteilte Messgröße $z_i(t)$
- Erwartungswert der Messgröße zu jedem Zeitpunkt t ist eine Funktion der Systemparameter



Methoden

Kostenfunktion

- ↗ Modellierung des Messfehlers durch eine GAUSSsche Normalverteilung
- ↗ Die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Messfehlers gibt die Wahrscheinlichkeit an, die Messung z in Abhängigkeit der Parameter Γ zu machen

$$p(\underline{z}|\underline{\Gamma})$$

- ↗ Hier: Die Messung ist bekannt und es ist der Parametersatz Γ gesucht!
- ↗ Es liegt ein inverses Problem vor: Welche Parameter lassen die Wahrscheinlichkeit z zu messen, maximal werden?

- ↗ Maximum Likelihood-Funktion: $L(\underline{\Gamma}|\underline{z})$

Methoden

Kostenfunktion

- ↗ Parameterschätzung durch Maximieren der Likelihood-Funktion

$$L(\underline{\Gamma}|\underline{z})$$

- ↗ Mathematisch leichter zu handhaben ist die log-Likelihood-Funktion. Aufgrund der Monotonie der Log-Funktion ändern sich die Stellen von Maxima und Minima nicht.

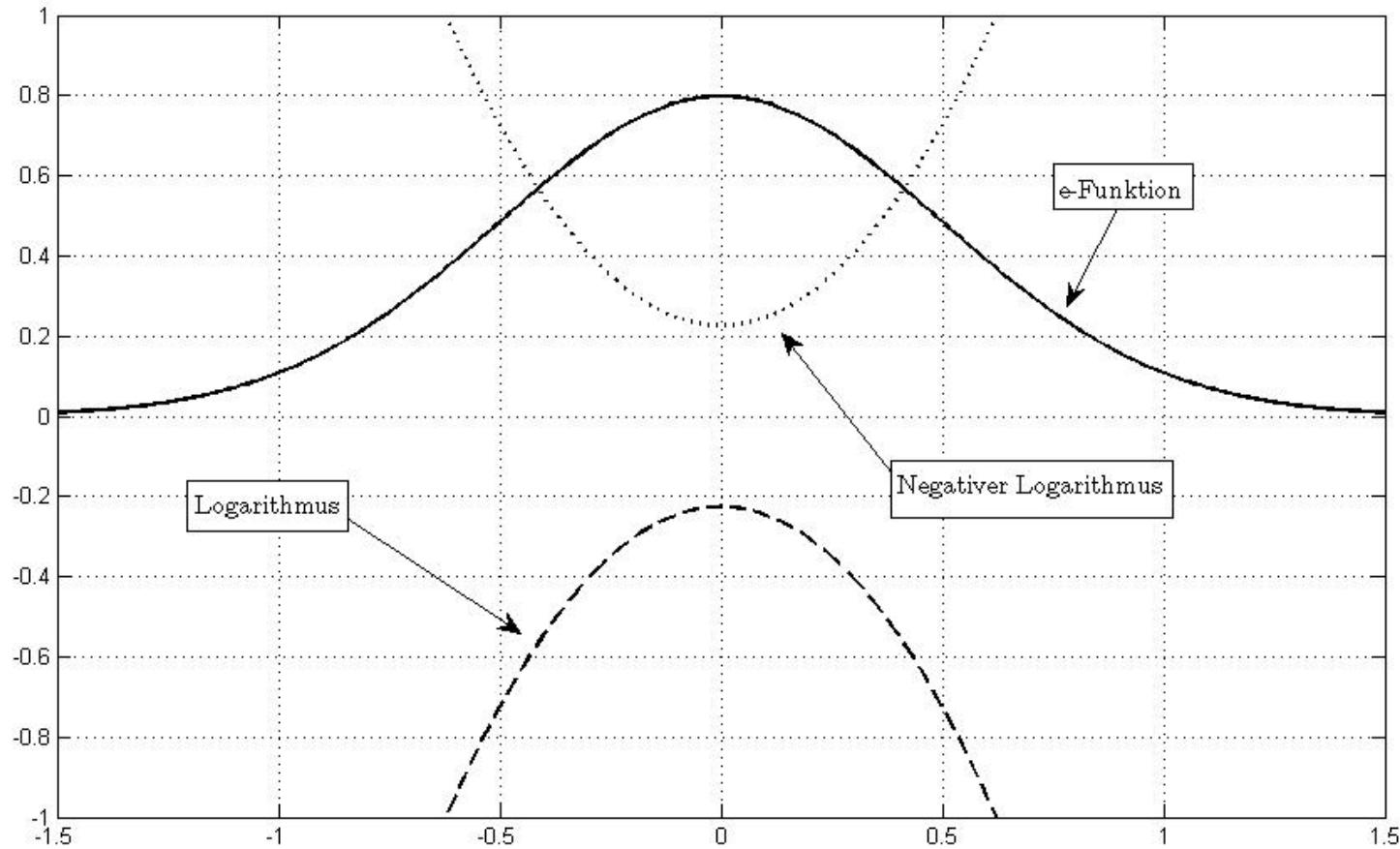
$$\ell(\underline{\Gamma}|\underline{z}) = \log L(\underline{\Gamma}|\underline{z})$$

- ↗ Der negative Logarithmus kann als Fehlerfunktion interpretiert werden, die es zu minimieren gilt.

$$\ell(\underline{\Gamma}|\underline{z}) = -\log L(\underline{\Gamma}|\underline{z})$$

Methoden

Kostenfunktion



Methoden

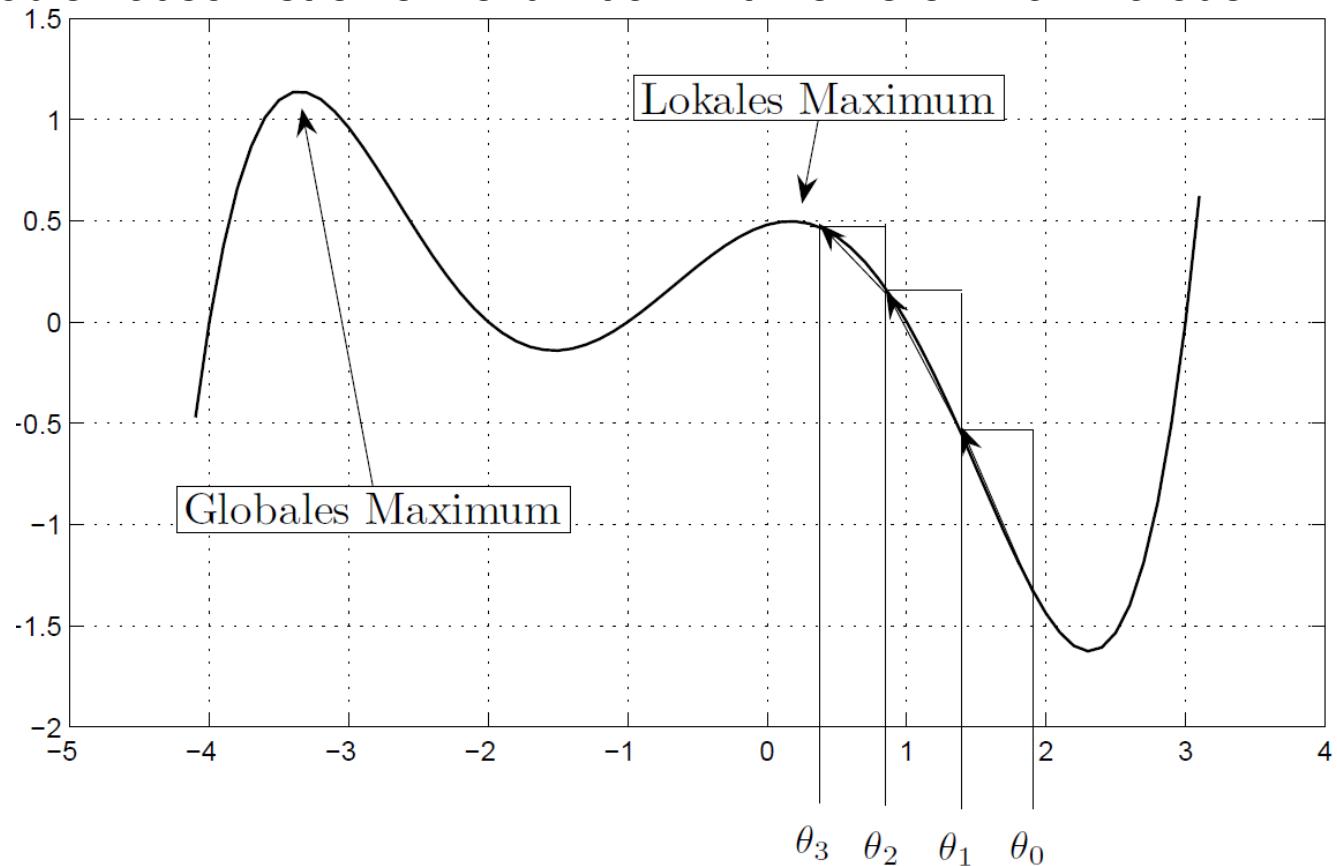
Optimierungsverfahren

- Gegebene Kostenfunktion ist zu minimieren! Aber wie?
- Newton-Raphson-Algorithmus zum Auffinden von Nullstellen einer Funktion
 - Grundidee: Linearisierung der Zielfunktion um einen Ausgangspunkt, Verwendung der Nullstelle der linearisierten Funktion als neuen Ausgangspunkt.
 - Führt zu einem iterativen Algorithmus!
$$x_k = x_{k-1} - \frac{f(x)}{f'(x)}$$
 - Aufsuchen der Nullstellen der ersten Ableitung der Zielfunktion liefert Extrempunkt.

Methoden

Optimierungsverfahren

- Problematisch ist eine Zielfunktion mit mehreren Maxima oder Minima



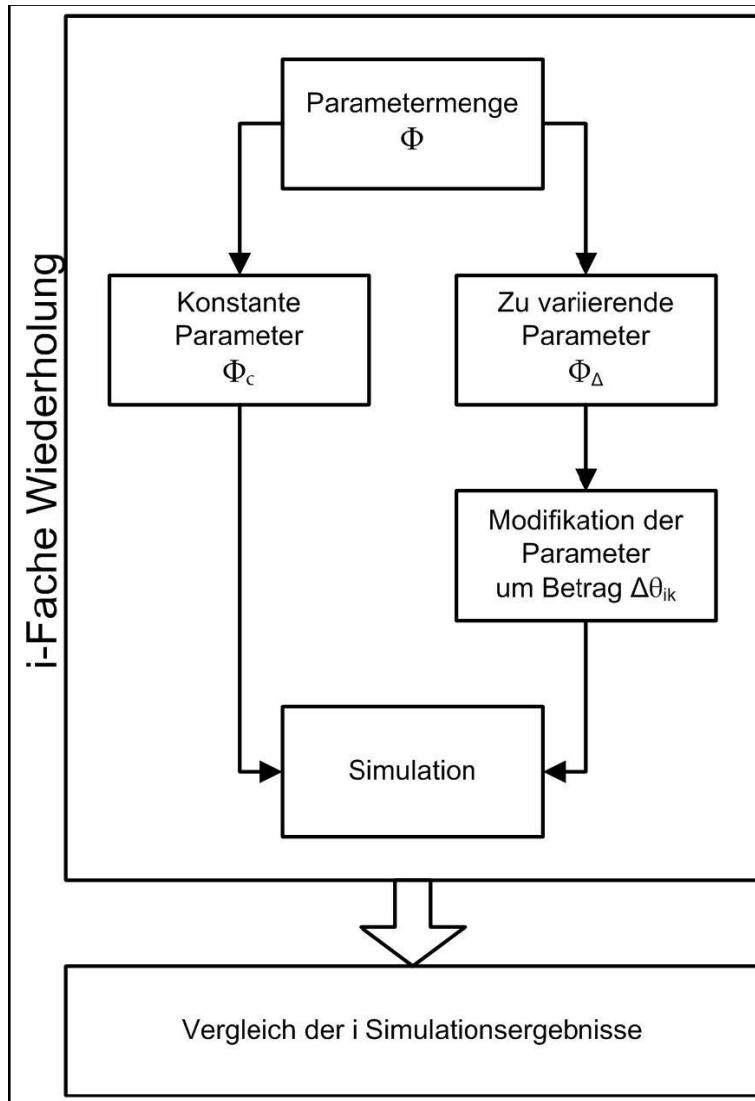


Die Sensibilitätsanalyse

Sensibilitätsanalyse

Motivation und Lösungsidee

- CarSim ist eine Blackbox!
- Genauer Einfluss der Parameter auf Ausgänge ist unbekannt
- Ansatz zur Informationsgewinnung:
Systematische Variation der Parameter und Analyse des Verhaltens der Ausgänge.
- Information kann genutzt werden um die Reihenfolge der Parameteridentifikation fest zu legen



Sensibilitätsanalyse

Auswahl der Parameter

- ↗ CarSim verfügt über ca. 100-150 Parameter!
- ↗ Der Rechenaufwand für eine Optimierung über alle Parameter wäre zu groß
- ↗ Auswahl einiger Parameter mit besonders großen Einfluss

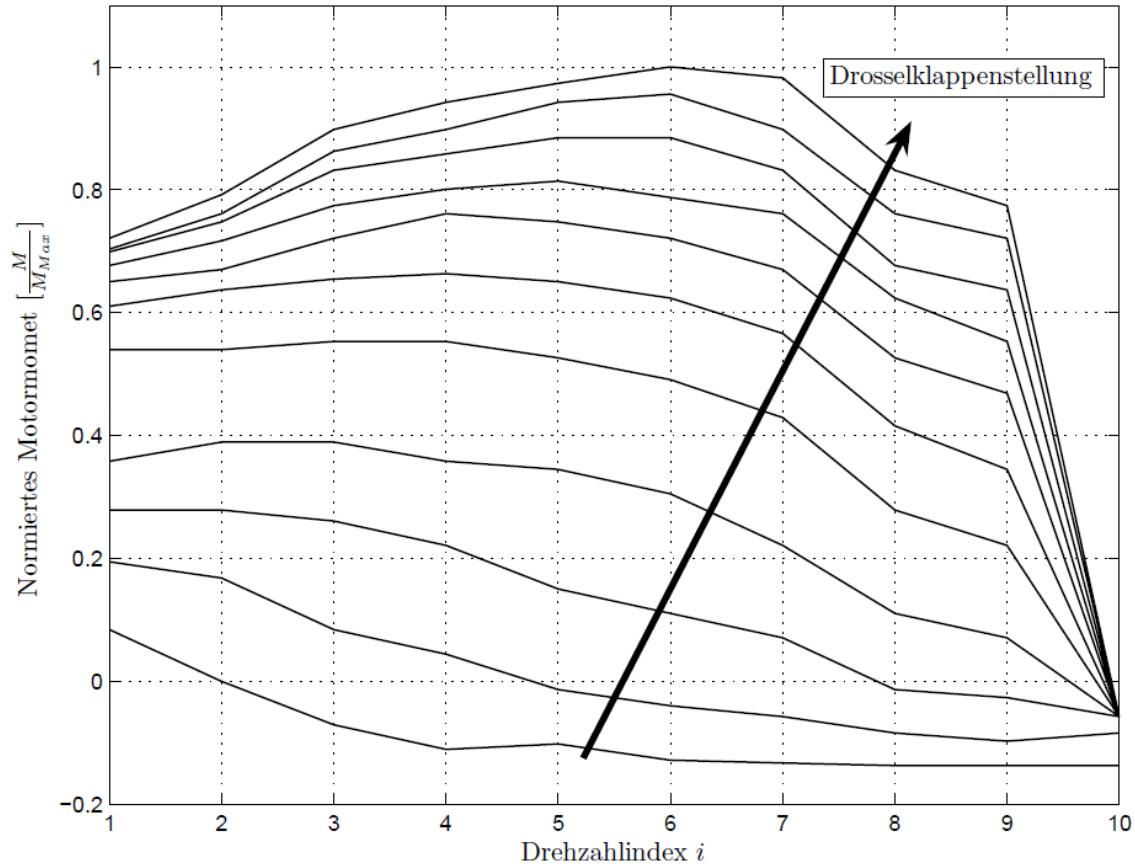
Komponente	Parameter
Engine	Motor Torque Maximum speed Idle speed
Transmission	Efficiencies
Front Wheel Torque	Brake Torque vs. Brake Cylinder Pressure
Rear Wheel Torque	Brake Torque vs. Brake Cylinder Pressure

Komponente	Parameter
Steering System	Steer Compliance Steering Kinematics
Front/Rear Compliance	Spring Characteristics
Tire	Lateral Tire-Force Aligning moment

Sensibilitätsanalyse

Auswahl der Parameter

- Variation von Kennlinien über die Skalierung von normierten Kennlinien





Systemidentifikation

Systemidentifikation

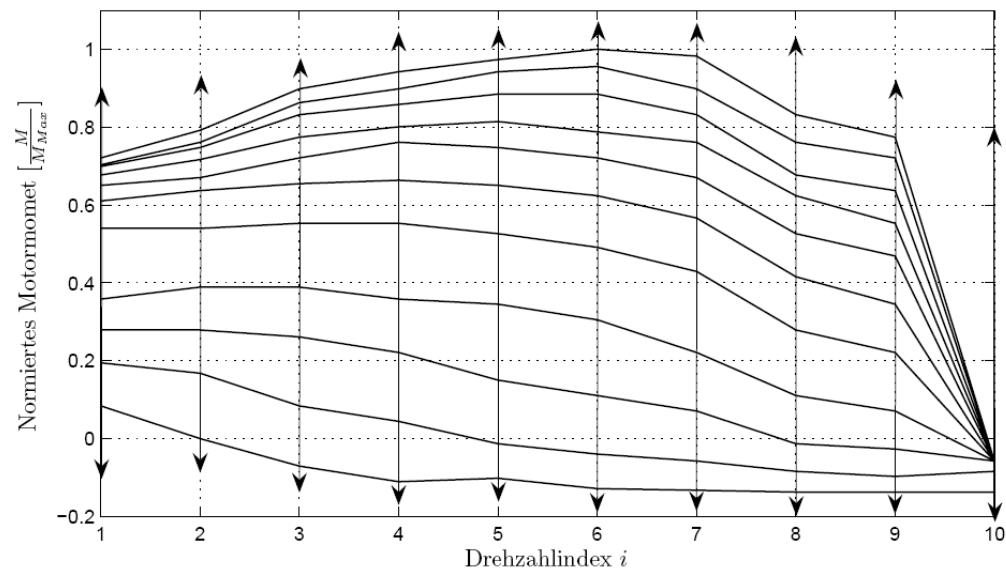
Auswahl der Ausgänge

- Wahl der Ausgänge nach Ansprüchen des Fahrsimulators
 - Fahrzeug-Geschwindigkeit
 - Motordrehzahl
 - Längsbeschleunigung
 - Querbeschleunigung
 - Gierwinkelrate

Systemidentifikation

Fahrmanöver

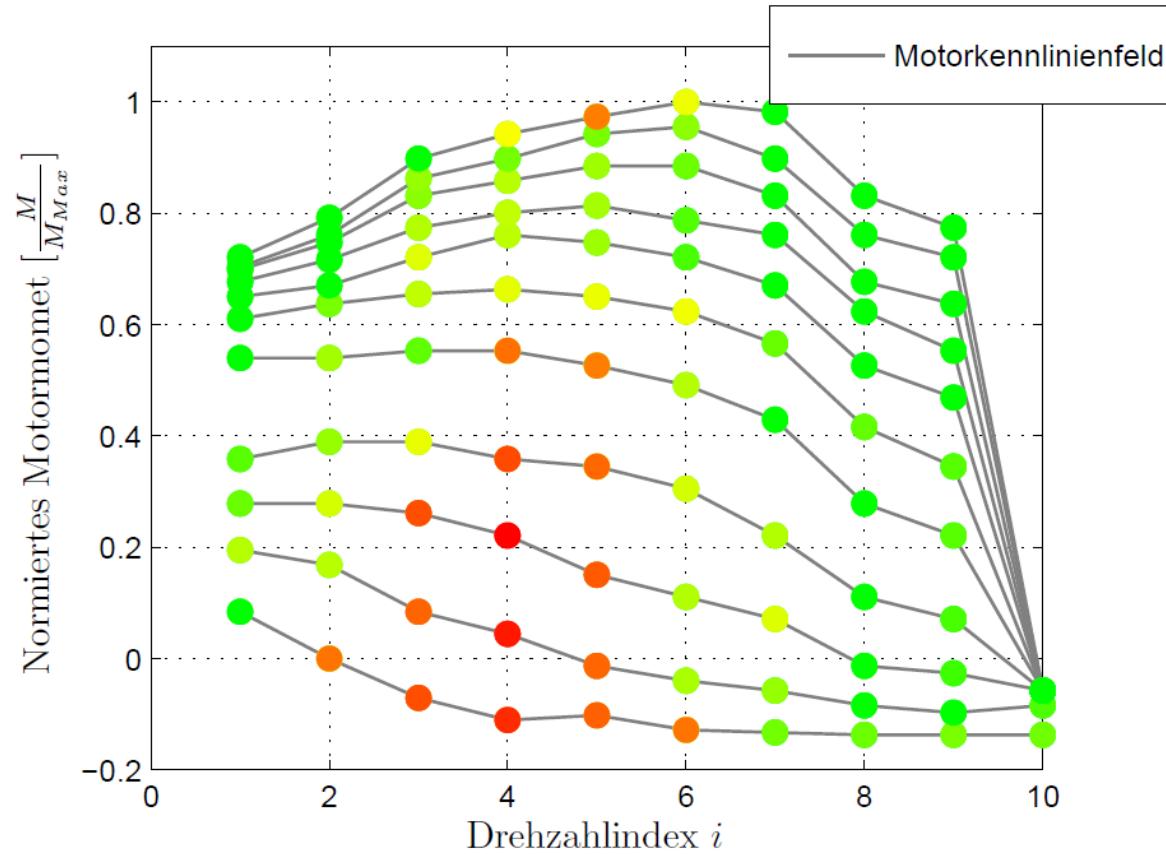
- Aufgrund begrenzter Rechenzeit ist eine Auswahl an Fahrmanövern zu treffen für die optimiert wird!
- Verwendung aller verfügbaren Längsdynamikdaten aufgrund besonderer Problematik mit Motorkennlinienfeld
- Messdaten der stationäre Kreisfahrten mit R=30m für Identifikation der Querdynamik



Systemidentifikation

Das Motorkennlinienfeld

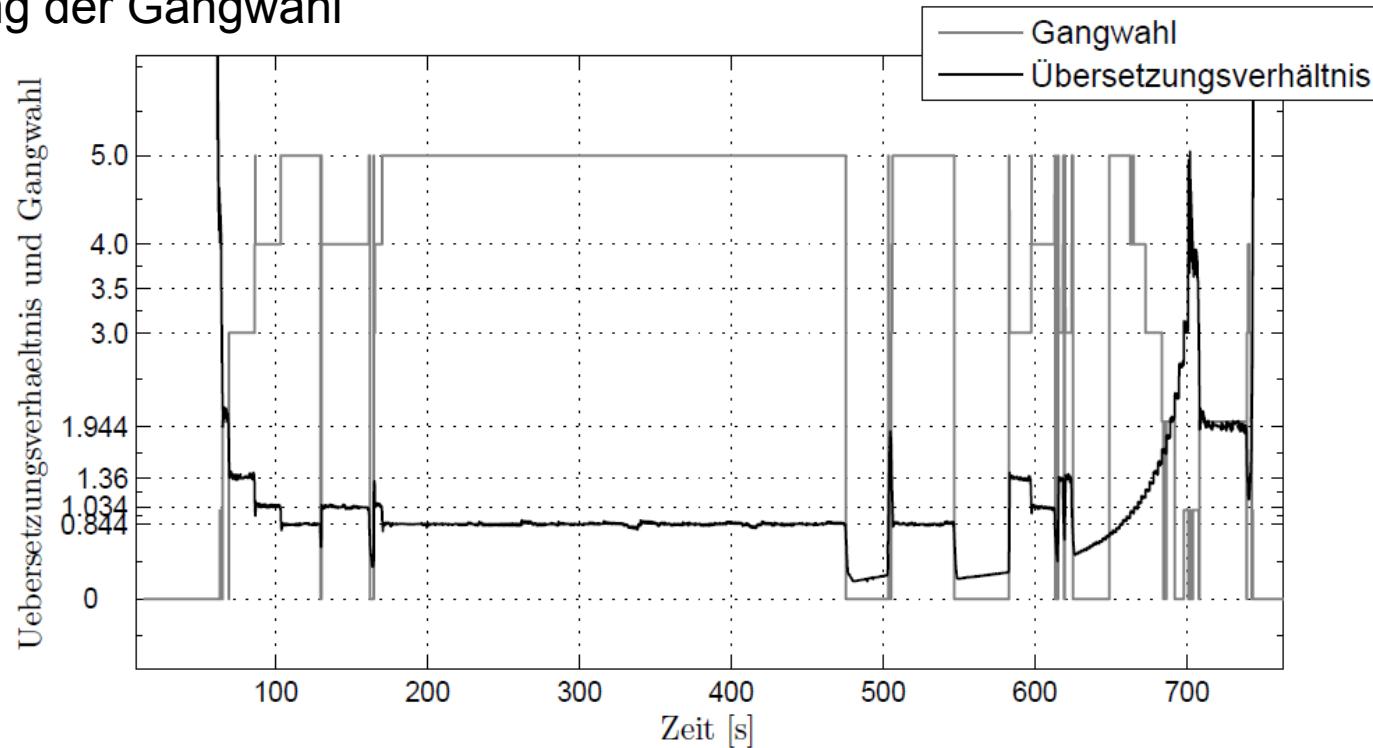
- Abdeckung des Motorkennlinienfeldes durch Eingangsdaten



Systemidentifikation

Generierung der Eingangsdaten

→ Generierung der Gangwahl



→ Generierung des Kupplungssignals über Beschleunigungswert

Systemidentifikation

Die Identifizierten Parameter

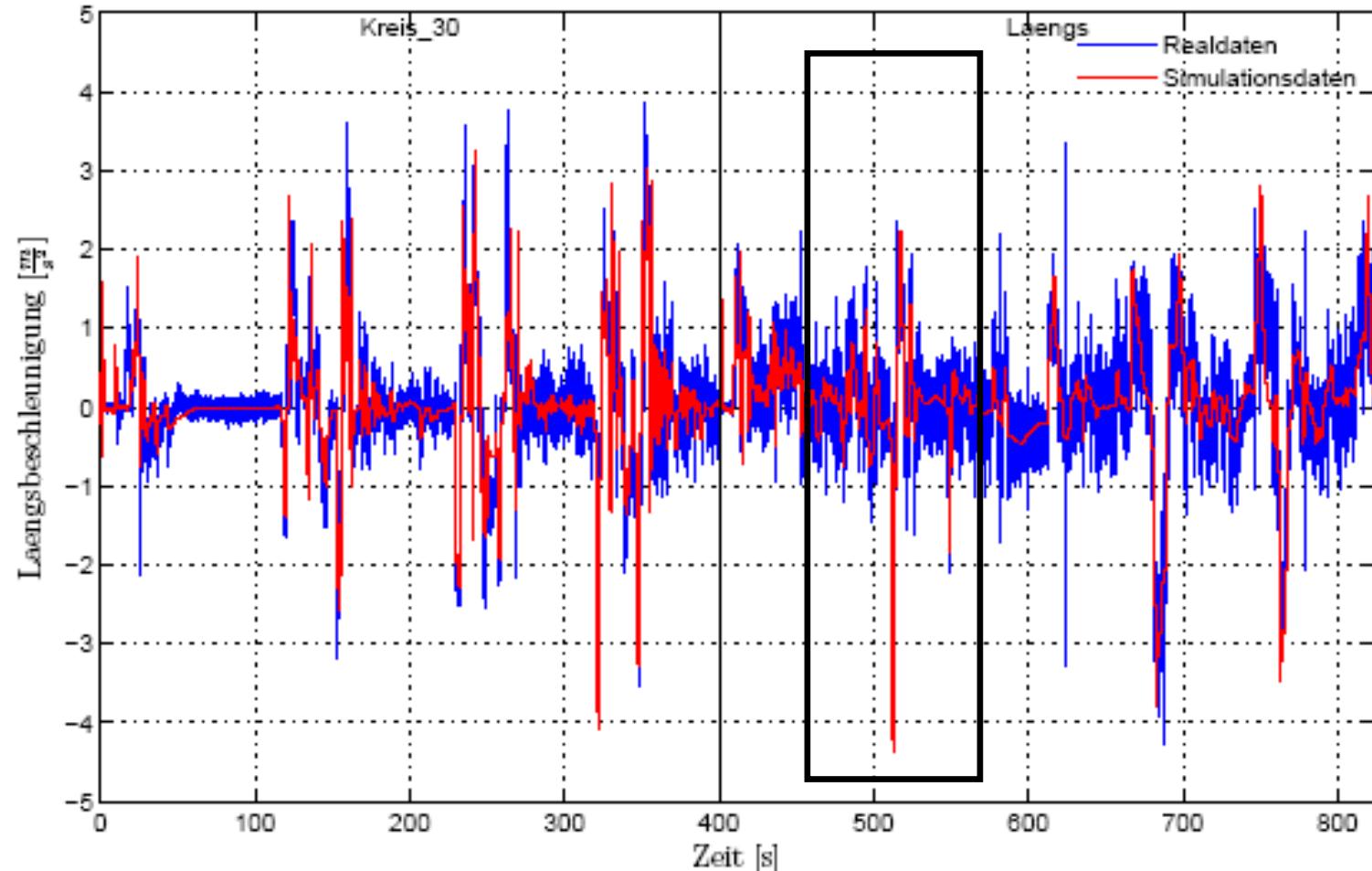
- Physikalischer und technischer Sinn der Parameter?

ID	Parameter	Wert
24	Steer Comp.	0.01 [$^{\circ}/Nm$]
25	Steer Kinema.	27.7 [$^{\circ}/^{\circ}$]
26	Spring Character	9674.1 [N/mm]
27	Lat. Tire-Force	4496.8 [$N/^{\circ}$]
28	Align. Moment	-0.14 [$Nm/^{\circ}$]
29	Shock Absorber	1804 [$N/(mm/s)$]
30	Auxiliary Moment	1000 [$Nm/^{\circ}$]
31	Align. Mom. Sc.	14.11 [$^{\circ}$]

ID	Parameter	Wert
1	Eng. Torque 01	482.85 [Nm]
2	Eng. Torque 02	165.29 [Nm]
3	Eng. Torque 03	133.56 [Nm]
4	Eng. Torque 04	425.24 [Nm]
5	Eng. Torque 05	556.02 [Nm]
6	Eng. Torque 06	636.64 [Nm]
7	Eng. Torque 07	161.87 [Nm]
8	Eng. Torque 08	414.29 [Nm]
9	Eng. Torque 09	231.43 [Nm]
10	Eng. Torque 10	010.00 [Nm]
11	Eng. Torque 11	414.30 [Nm]
14	Max. Eng. Speed	4024.9 [$\frac{1}{min}$]
15	IdleSpeed	695.04 [$\frac{1}{min}$]
16	TransEff	0.925 [1]
17	Fr. Br. Torque	486.11 [Nm]
18	Re. Br. Torque	0 [Nm]

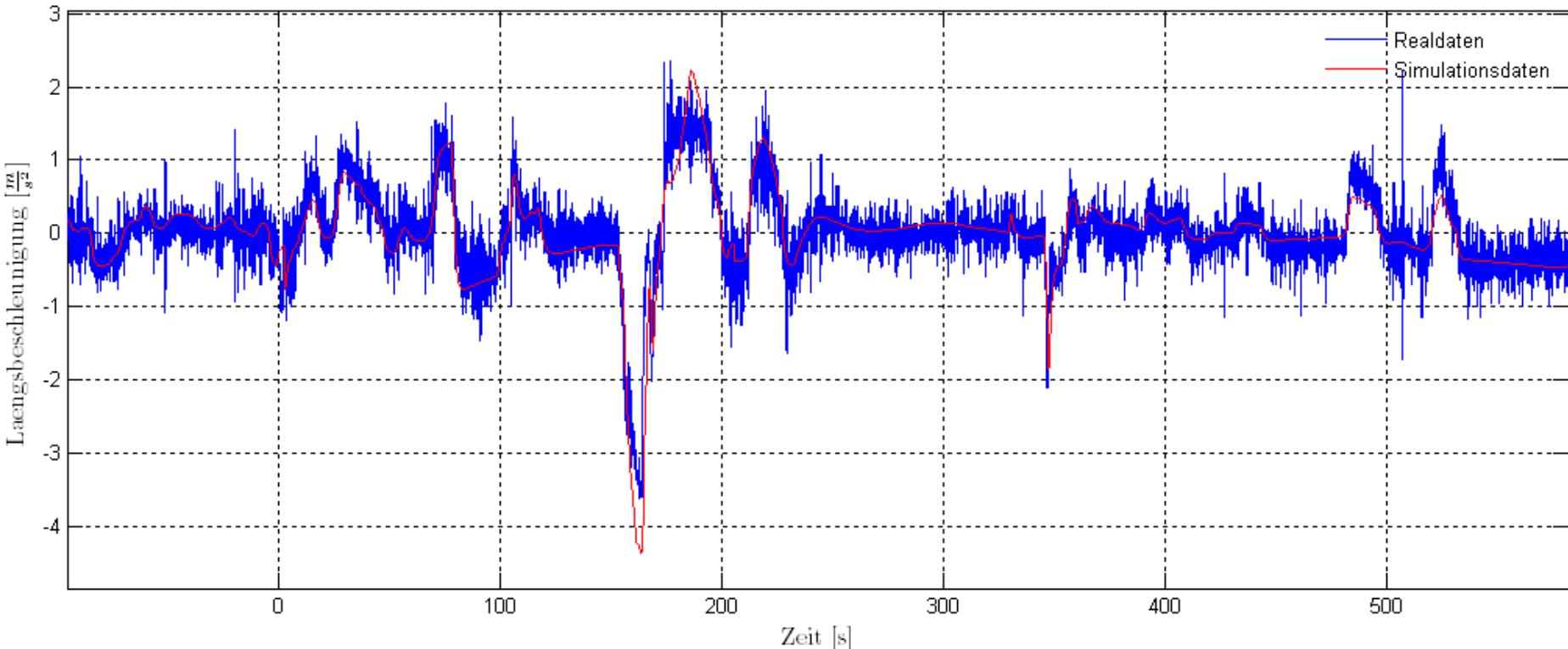
Systemidentifikation

Ergebnisse: Längsbeschleunigung



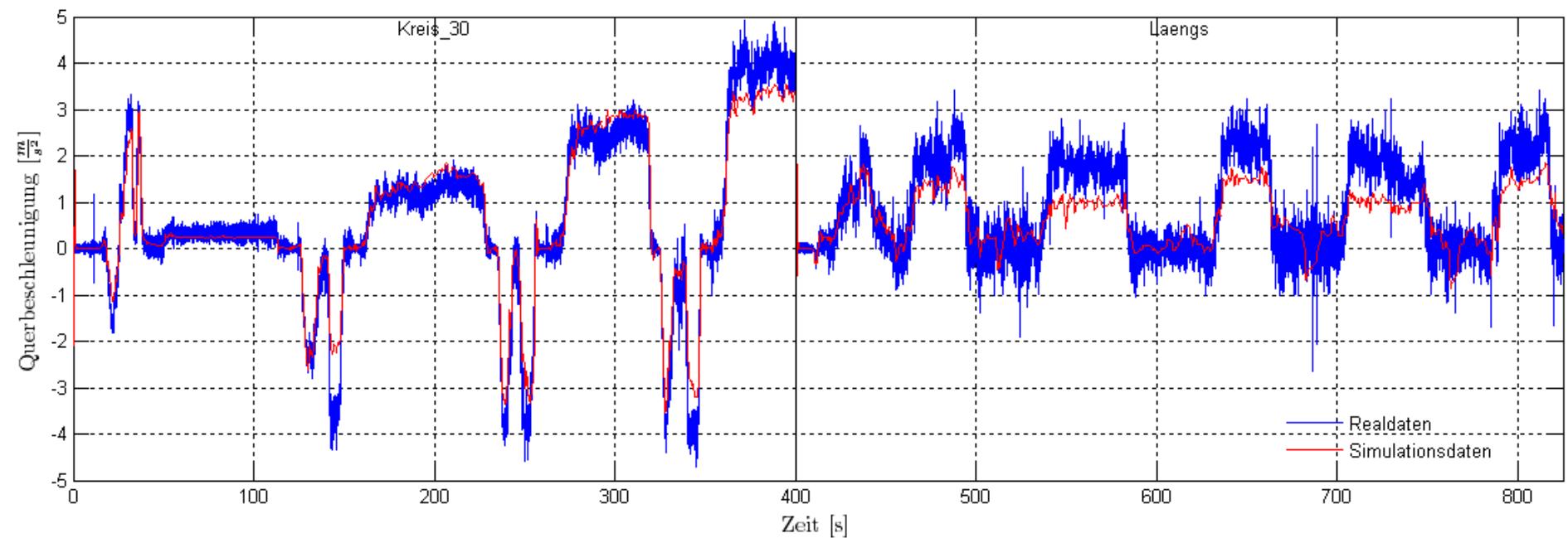
Systemidentifikation

Ergebnisse: Längsbeschleunigung



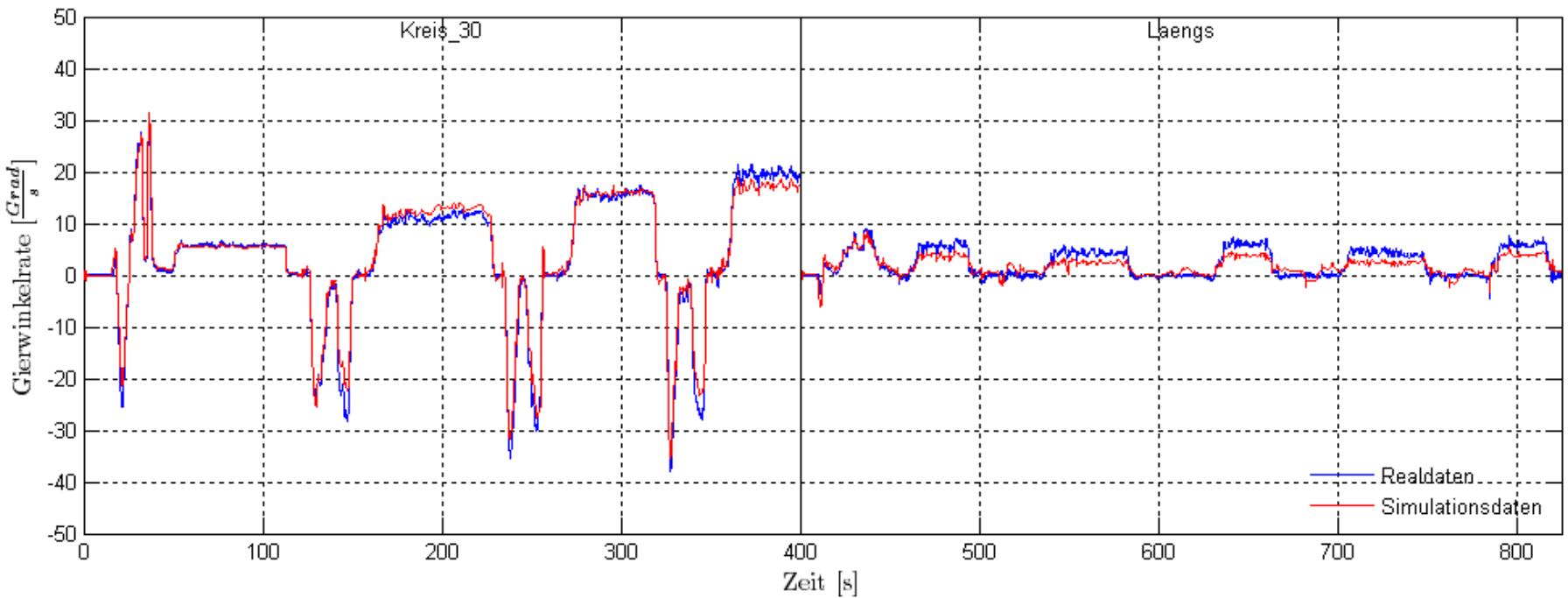
Systemidentifikation

Ergebnisse: Querbeschleunigung



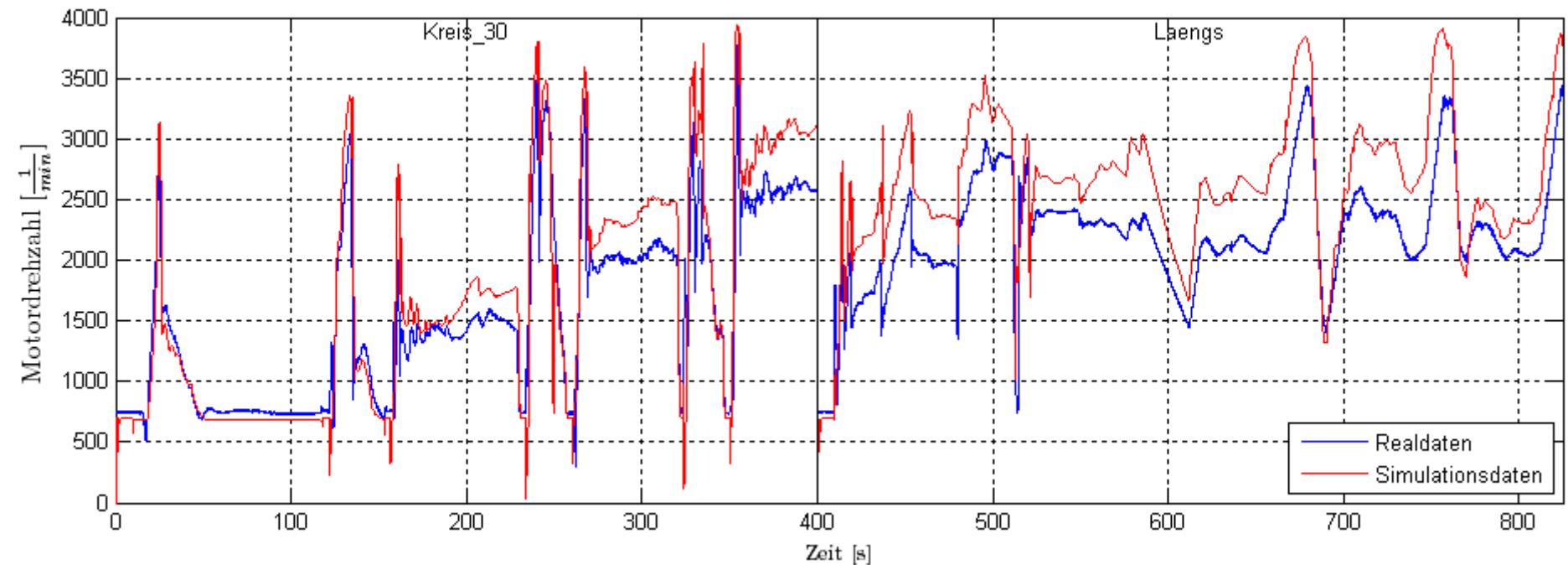
Systemidentifikation

Ergebnisse: Gierwinkelrate



Systemidentifikation

Ergebnisse: Motordrehzahl



Problematisch durch die Komplexität des Motorkennlinienfeldes und der starken Vereinfachung bei der Optimierung!

Anmerkung zu den Ergebnissen

- ↗ Das Modell hat mindestens 100 Parameter, ...
- ↗ davon wurden 11 im Rahmen der Systemidentifikation identifiziert
- ↗ davon waren 11 Parameter a priori gegeben
- ↗ Optimierung des Systems nach 11 Parametern dauert bei ca. 15 Minuten Versuchsdaten etwa 20 Stunden

Zusammenfassung

- ☛ Methoden
- ☛ Werkzeuge
- ☛ Sensibilitätsanalyse
- ☛ Systemidentifikation

Abschluss & Ausblick

- ↗ Aufnahme zusätzlicher Längsdynamik-Versuchsdaten: Durchfahren aller Geschwindigkeitsbereiche und aller Gänge
- ↗ Entwicklung von Verfahren zur einfacheren Beschreibung des Kennlinienfeldes mit größerem Einfluss auf dessen prinzipielles Aussehen
- ↗ Gezielte Streuung der Startparameter
- ↗ Testen von weiteren Methoden



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!