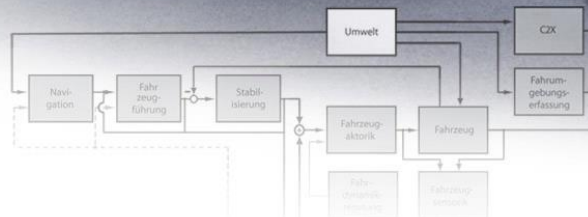
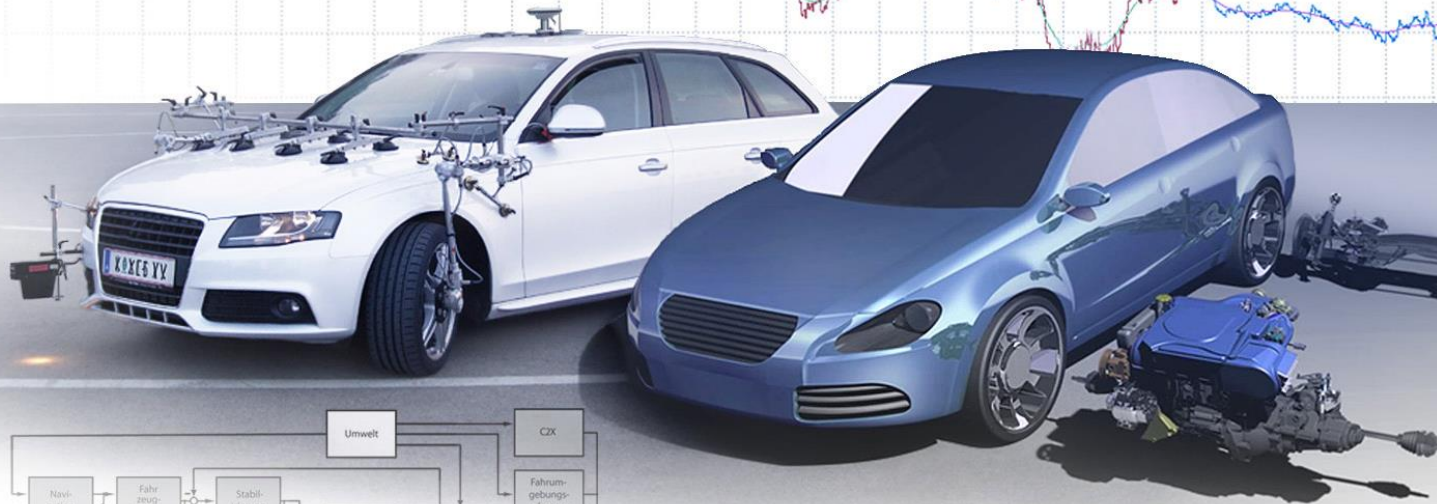


$$\omega = \frac{v}{r} (1 + s_B) = \frac{v}{r} s^*$$



## Fahrverhalten für automatisierte Fahrfunktionen – Müssen sich Algorithmen wie Fahrer anpassen?

Vortragender: Martin Schabauer

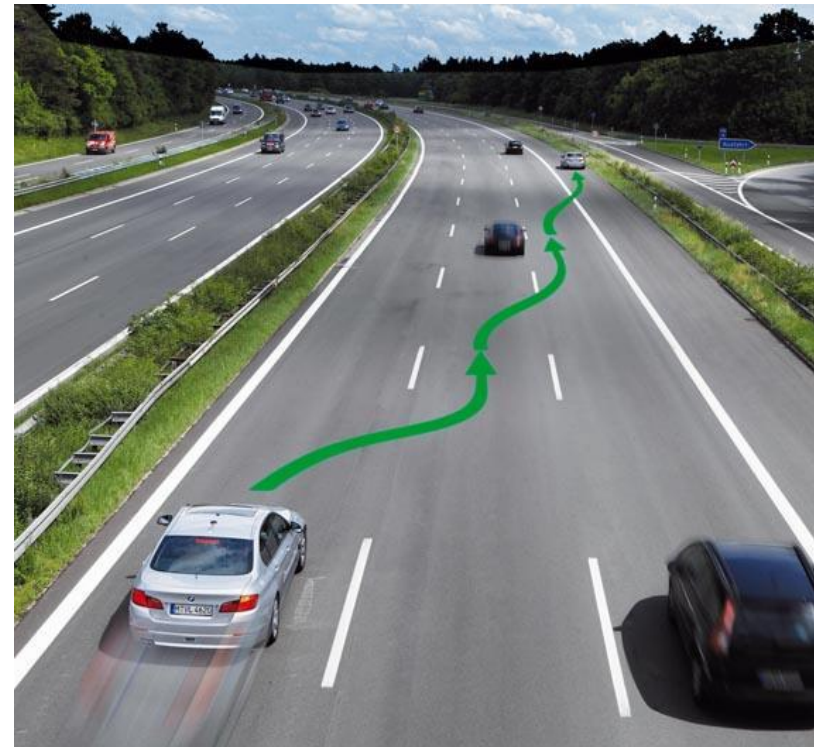
Mitwirkende: Paul Karoshi, Markus Ager, Cornelia Lex

15. ÖAMTC Symposium „Reifen und Fahrwerk“

# Pflicht und Kür...

...automatisierter Fahrfunktionen

- **Aktuell trägt der Fahrzeuglenker die Verantwortung**, die Kontrolle über das Fahrzeug **in allen Fahrsituationen** zu haben
- **Fahrer passt sich an** geändertes Fahrverhalten des Fahrzeuges an
- **Mit steigendem Automatisierungsgrad** wird **kein menschlicher Fahrer** mehr benötigt



(© BMW Group Forschung und Technik)

## Fazit:

- **Fahrzeuglenker** wird zu „**Beifahrer**“ der automatisierten Fahrfunktion
- Hohes Niveau an **Vertrauen und Akzeptanz** erforderlich
- **Geändertes Fahrverhalten muss berücksichtigt werden**

# Agenda



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

- Was sind automatisierte Fahrfunktionen?
- Was bedeutet Automatisierung in Bezug auf Fahrdynamik?
- Wie kann geändertes Fahrverhalten berücksichtigt werden?
- Zusammenfassung und Ausblick

# Agenda



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

- Was sind automatisierte Fahrfunktionen?
- Was bedeutet Automatisierung in Bezug auf Fahrdynamik?
- Wie kann geändertes Fahrverhalten berücksichtigt werden?
- Zusammenfassung und Ausblick

# Automatisierung im Fahrzeug

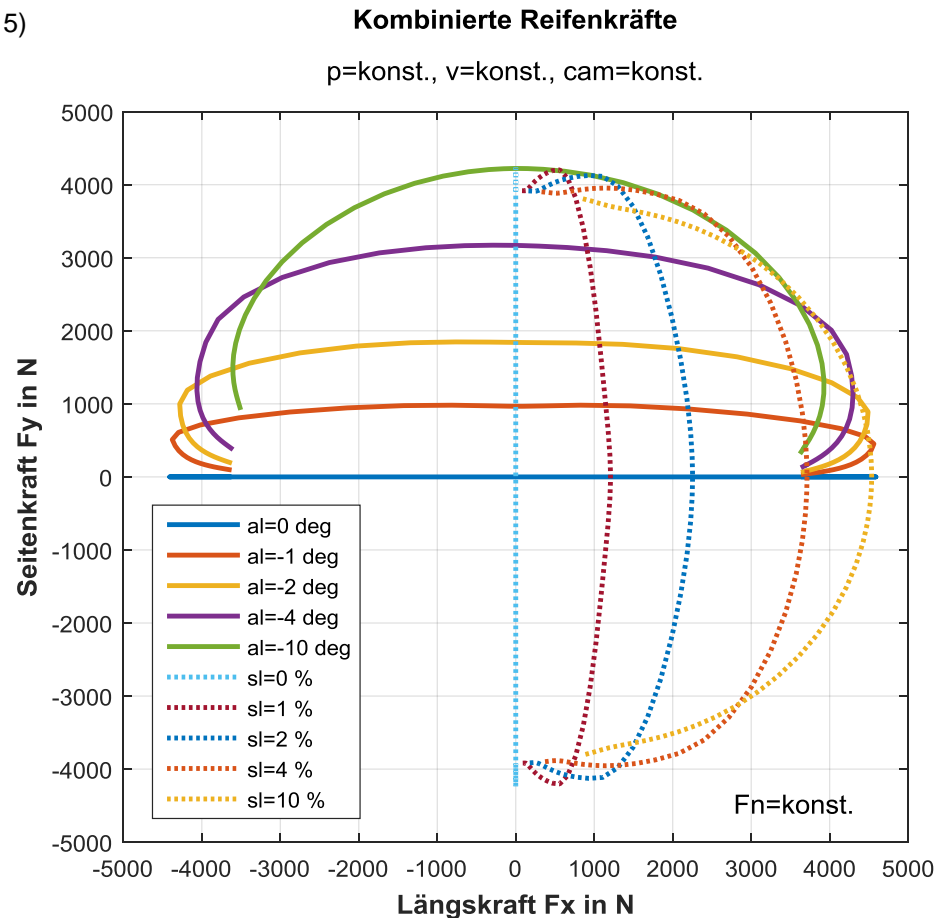
(SAE International, 2017)

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of <i>dynamic driving task</i>	System capability ( <i>driving modes</i> )	BASIS level	NHTSA level
<b>Human driver monitors the driving environment</b>								
0	<b>No Automation</b>	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	<b>Driver Assistance</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	<b>Partial Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	<b>System</b>	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>								
3	<b>Conditional Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	<b>System</b>	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	<b>High Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	<b>System</b>	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	<b>Full Automation</b>	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	<b>All driving modes</b>		

→ *Automatisierung bedeutet auch Mobilität bis ins höchste Alter!*

# Potential von Assistenz- und Regelsystemen

- Ziel von *Fahrerassistenzsystemen FAS* und *Fahrdynamikregelungen FDR* ist Aufrechterhaltung einer **Sicherheitsreserve** gegenüber Kraftschlussgrenze und Erfahrungsbereich des Fahrers (Winner et al., 2015)
- Potentieller **Eingriffsbereich** liegt zwischen **Erfahrungsbereich** und **Kraftschlussgrenze** bzw. dem physikalischen Grenzbereich
- Fahrer reagiert meist „einkanalig“ (nur lenken, nur bremsen, etc.), **passt sich jedoch an Fahrverhalten selbstständig an**



TMeasy tyre model 5.0 + STI V1.4 - 08.2014

TFView 2.4.2 (c) 2017 W.Hirschberg

03-Oct-2017

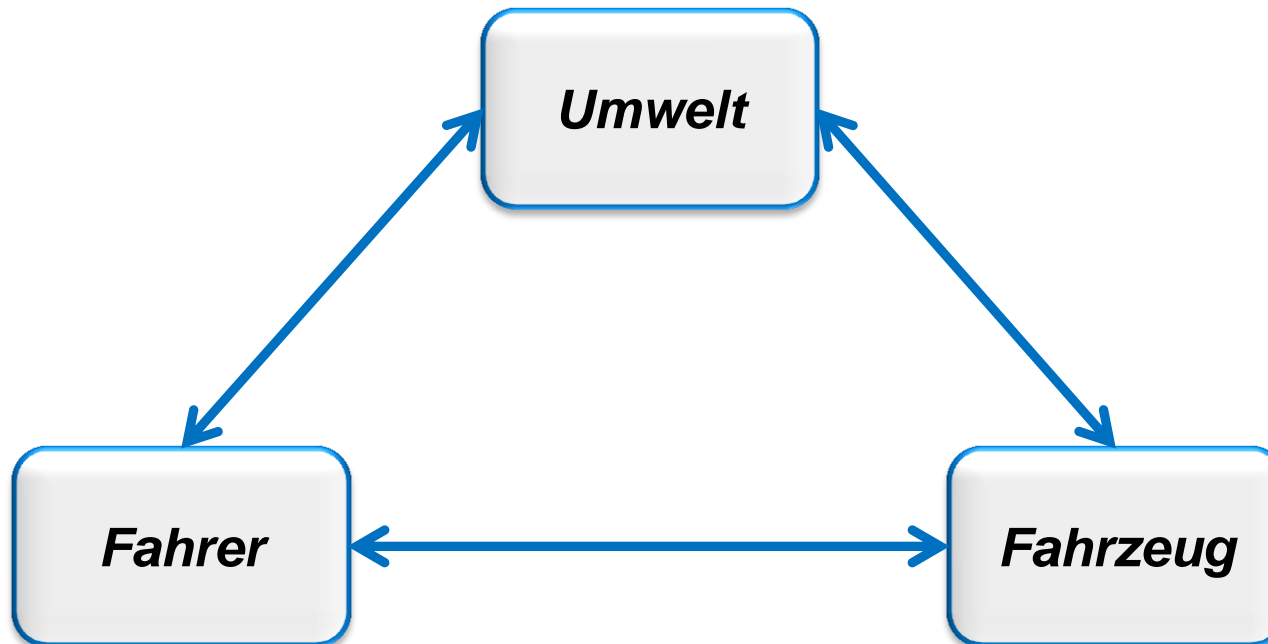
# Agenda



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

- Was sind automatisierte Fahrfunktionen?
- Was bedeutet Automatisierung in Bezug auf Fahrdynamik?
- Wie kann geändertes Fahrverhalten berücksichtigt werden?
- Zusammenfassung und Ausblick

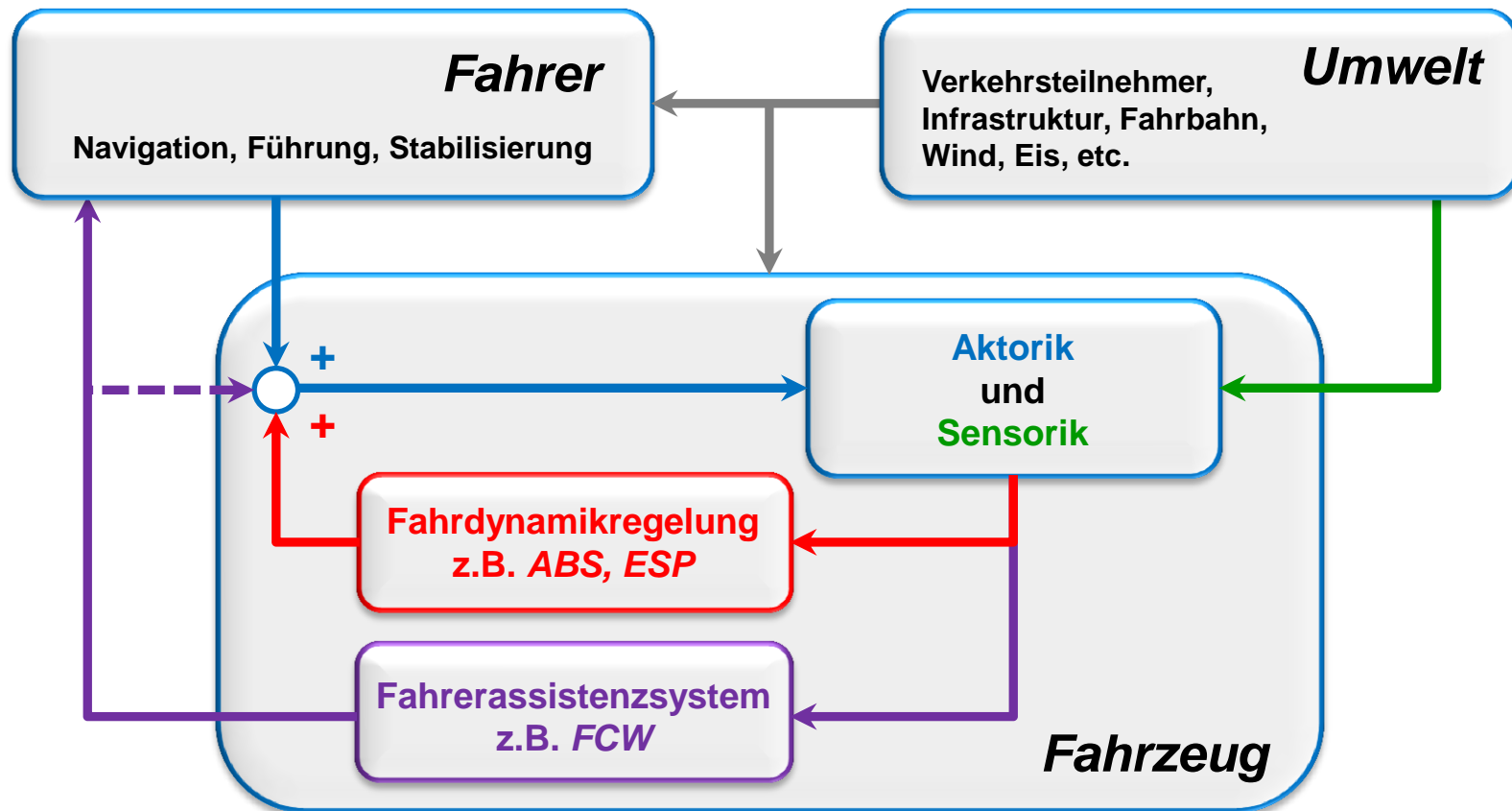
# System Fahrer–Fahrzeug–Umwelt



→ *Fahrer, Fahrzeug und Umwelt* stehen in Wechselwirkung zueinander



# Prinzip der Fahrzeugregelung



- *Fahrdynamikregelung* ist selbst initiiierend/eingreifend → nicht übersteuerbar
  - *Fahrerassistenz* ist hinweisend/warnend/empfehlend → übersteuerbar
- Fließender Übergang zwischen *FDR* u. *FAS* mit steigender Automatisierung

# Automatisierter Fahrstreifenwechsel

## Ziel: Änderung des aktuellen Fahrstreifens

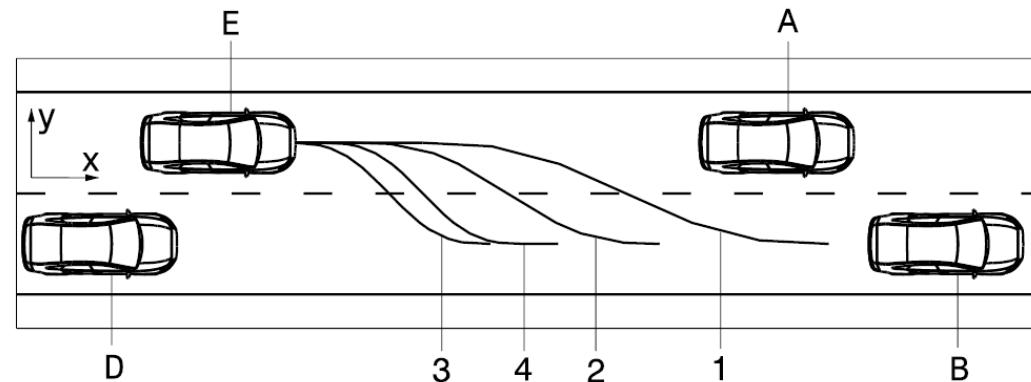
(Samiee et al., 2016)

- **Abstände** zwischen Fahrzeugen für Fahrzeuglenker **oft schwer einschätzbar**
- **Sicherheitsrelevant** bei Sekundenschlaf oder Herzinfarkt

→ *Fahrerzustandsüberwachung*

→ *„Nothalteassistent“*

- Andere Faktoren wie z.B. Kraftstoff/Energieverbrauch können berücksichtigt werden



→ **Situationsabhängig sind mehrere Fahrmanöver möglich**  
*(hier 1 bis 4)*

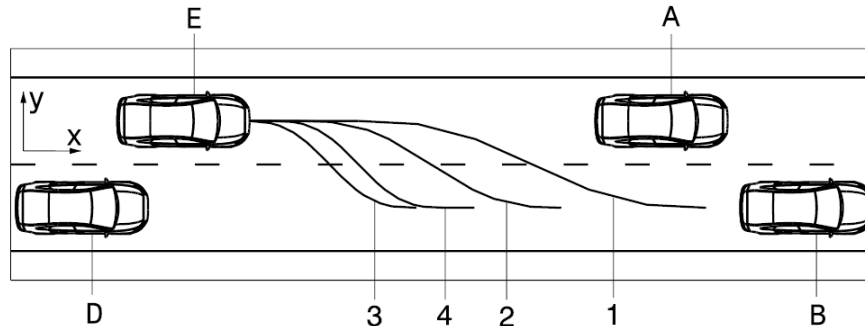
## Problemstellungen:

- 1.) Wie kann Trajektorie bestimmt werden?
- 2.) Wie kann geeignete Trajektorie ausgewählt werden?

# Automatisierter Fahrstreifenwechsel

## Beispiel: Automatisierte Trajektorienwahl

(Samiee et al., 2016)



→ Mathematische Beschreibung der **Trajektorie**  $y(t)$  notwendig

$$y(t) = at^5 + bt^4 + ct^3 + dt^2 + et + f$$

→ Vereinfachung der **Problemstellung** unter geeigneten Randbedingungen, z.B. Vernachlässigung von möglichem Beschleunigen und Verzögern in Längsrichtung

$$\begin{aligned} y|_{t=0} &= 0, & \dot{y}|_{t=0} &= 0, & \ddot{y}|_{t=0} &= 0 \\ y|_{t=t_m} &= -h, & \dot{y}|_{t=t_m} &= 0, & \ddot{y}|_{t=t_m} &= 0 \end{aligned}$$

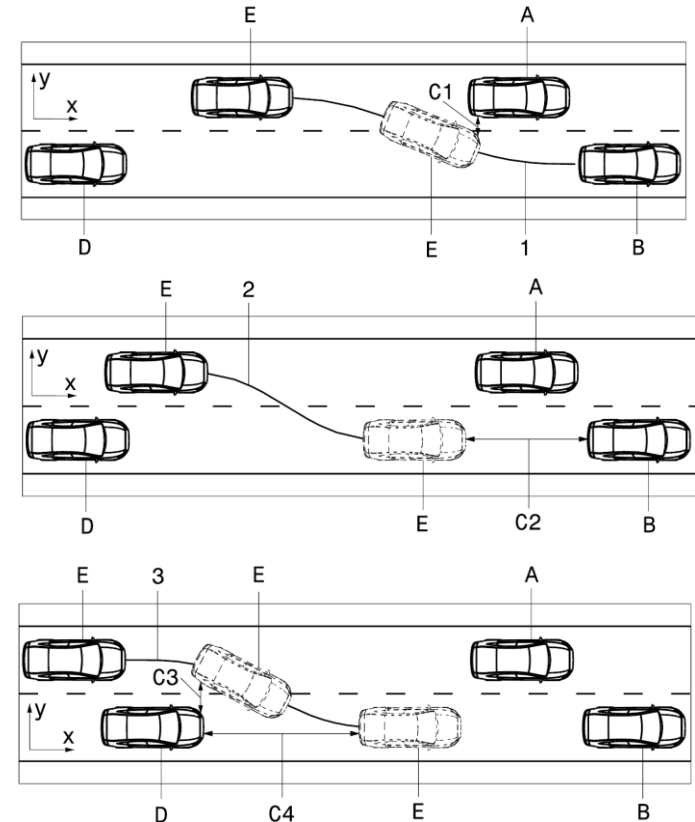
$$y(t) = \left(\frac{-6h}{t_m^5}\right)t^5 + \left(\frac{15h}{t_m^4}\right)t^4 + \left(\frac{-10h}{t_m^3}\right)t^3$$

# Automatisierter Fahrstreifenwechsel

(Samiee et al., 2016)

## Beispiel: Automatisierte Trajektorienwahl

- Basierend auf **Umgebungsmodell** (*Kamera, Radar, LIDAR, etc.*)
- Verschiedene Szenarien müssen untersucht und analysiert werden
- Mehrere **Bedingungen müssen erfüllt sein** damit passendes und **sicheres Fahrmanöver möglich** wird und ausgewählt werden kann



→ **Genügend Abstand** C1, C2, C3 zu anderen Fahrzeugen

→ **Kraftschlusspotential zwischen Reifen und Fahrbahn** muss ausreichend sein

→ **Analyse des aggressivsten Fahrmanövers**

# Aggressivstes Fahrmanöver

→ Die entworfene Trajektorie und das damit verbundene Fahrmanöver muss in Bezug auf die Fahrdynamik auch durchführbar sein!

- Die für das geplante Fahrmanöver benötigte **Querbescleunigung** muss erreicht werden

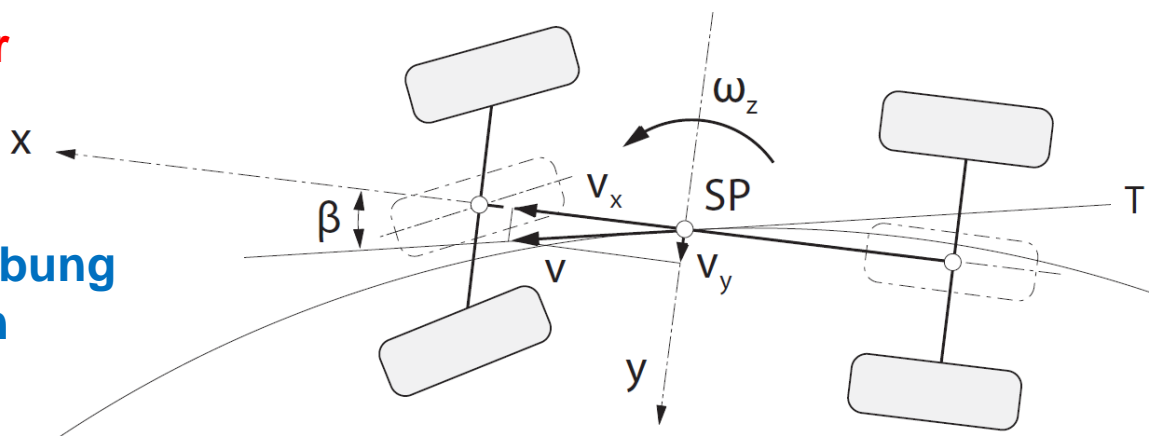
$$m(a_y + rv_x - pv_z) = F_y$$

- Der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn ist ausschlaggebend

$$F_y = \sum_{i=1}^4 (F_{xi} \sin(\delta_i) + F_{yi} \cos(\delta_i))$$

- **Fahrstabilität muss immer gewährleistet sein!**

→ **Mathematische Beschreibung von Fahrzeug und Reifen erforderlich**



# Aggressivstes Fahrmanöver

## → Modellierung des Reifenverhaltens

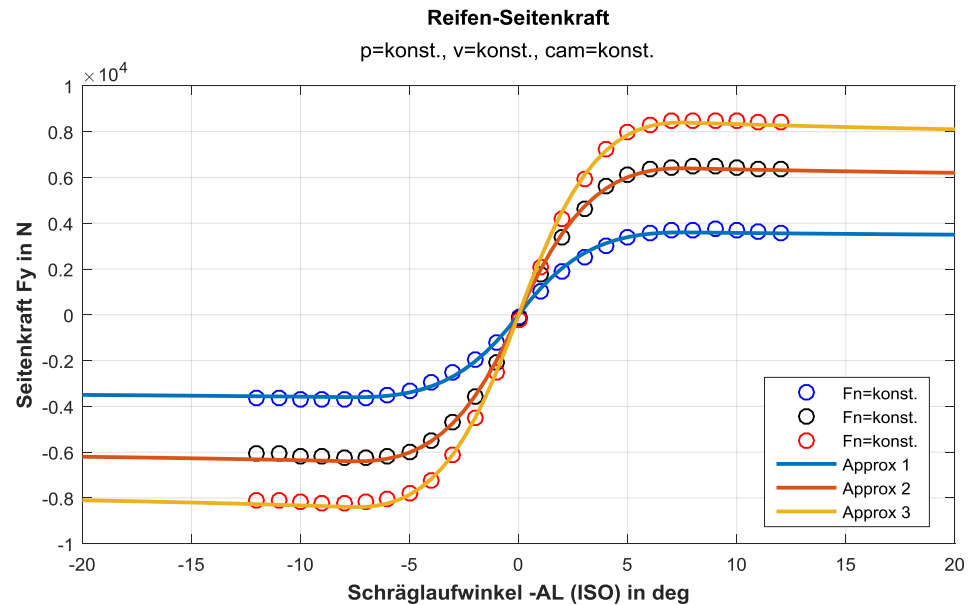
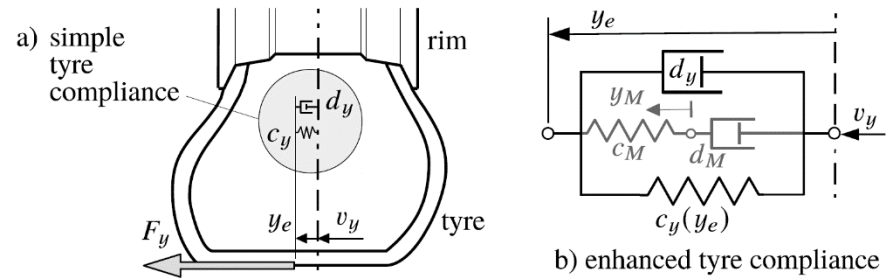
- **Transiente Kraftübertragung** aufgrund visko-elastischen Reifenverhaltens (*Reifendynamik*)

$$F_y = c_y y_e + c_M (y_e - y_M) + d_y \dot{y}_e$$

- Bestimmung des möglichen **Kraftschlusses  $\mu$**  zwischen Reifen und Fahrbahn

$$\mu = \frac{F_y}{F_z}$$

(Hackl et al., 2017)

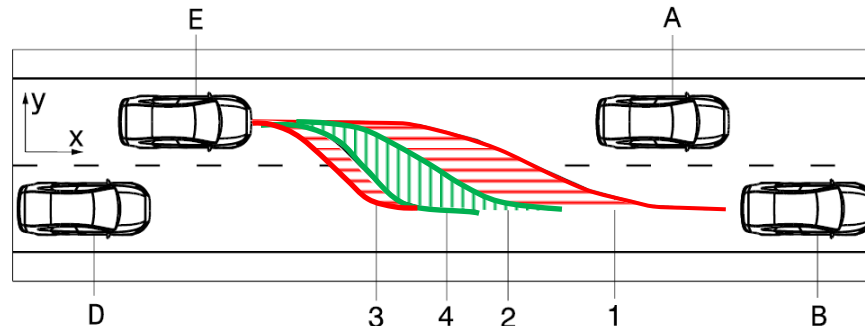


TMeasy tyre model 5.0 + STI V1.4 - 08.2014  
TFView 2.4.2 (c) 2017 W.Hirschberg

26-Sep-2017

# Automatisierter Fahrstreifenwechsel

## Beispiel: *Automatisierte Trajektorienwahl*



(Samiee et al., 2016)

- **Bereich für zulässige, sichere Trajektorie** bzw. Fahrmanöver somit bestimmt
- **Algorithmus** muss **robust**, **recheneffizient** und **echtzeitfähig** sein

### Fazit:

→ Die **Trajektorie**  $y$  ist somit eine Funktion der aktuellen Position (*Zeit*  $t$ ), der **Fahrzeugmasse**  $m$  und des **Reifen-Fahrbahn-Kraftschlusses**  $\mu$

$$y = y(t, m, \mu)$$

# Agenda



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

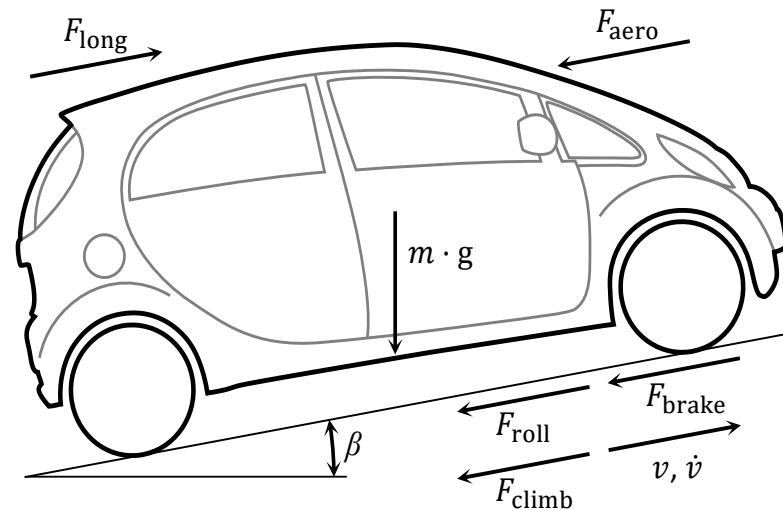
- Was sind automatisierte Fahrfunktionen?
- Was bedeutet Automatisierung in Bezug auf Fahrdynamik?
- **Wie kann geändertes Fahrverhalten berücksichtigt werden?**
- Zusammenfassung und Ausblick



# Berücksichtigung des Fahrverhaltens

## Beispiel: Schätzung von Masse und Fahrbahnsteigung

- Robuster und numerisch effizienter Algorithmus
- Betrachtung und Modellierung der **Fahrzeuglängsdynamik**
- Kein explizites Reifenmodell notwendig
- Es werden ausschließlich Signale vom **Fahrzeug CAN-Bus** verwendet

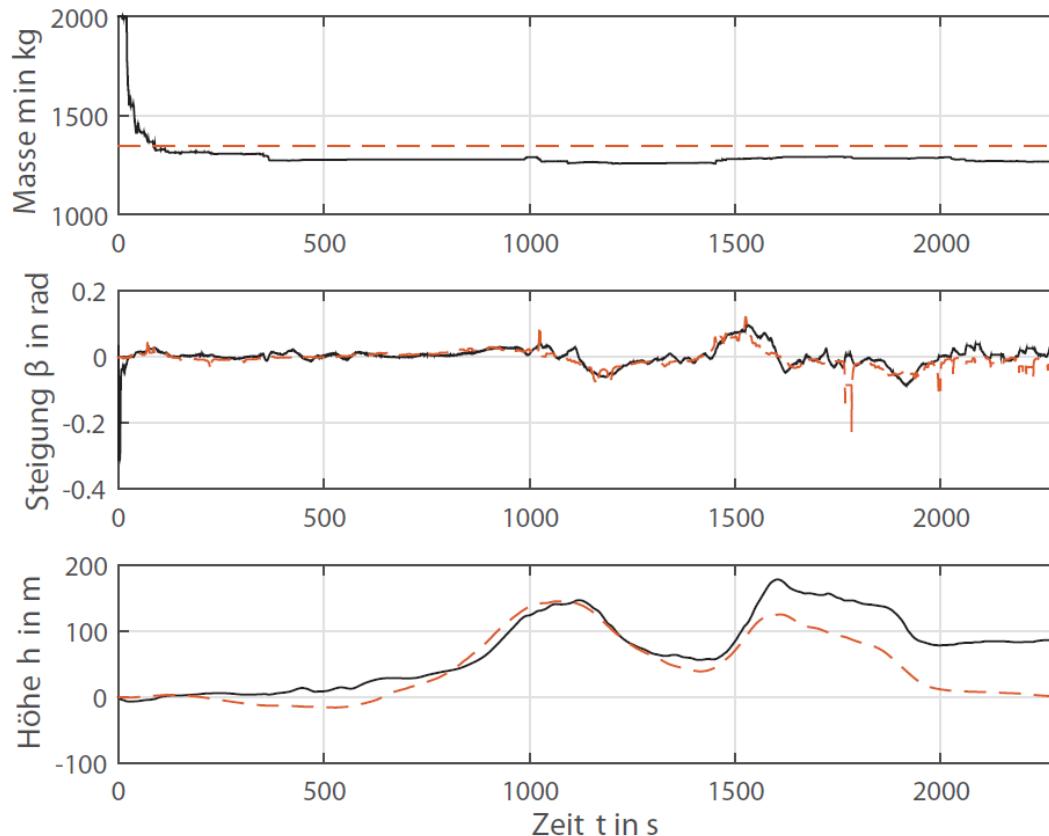


$$m \cdot \dot{v} = F_{long} - F_{aero} - F_{climb} - F_{roll} - F_{brake}$$

(Karoshi et al., 2017)

# Berücksichtigung des Fahrverhaltens

## Beispiel: Schätzung von Masse und Fahrbahnsteigung

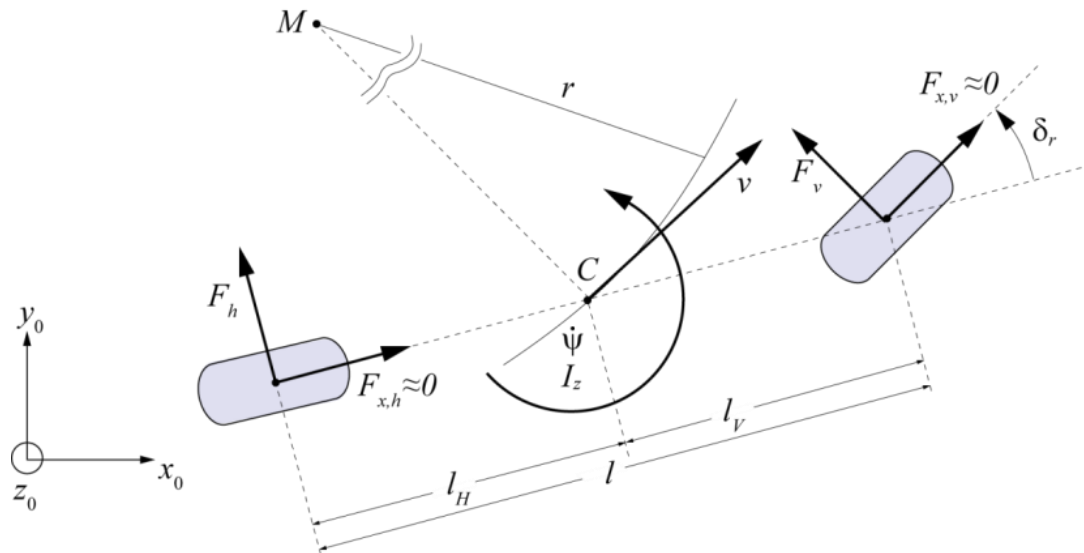


(Karoshi et al., 2017)

- Mehrere Testfahrten bei unterschiedlichen Beladungszuständen (1216-1504 kg)
- **Gute Übereinstimmung** zwischen **Schätzung** und **Referenzwerten**

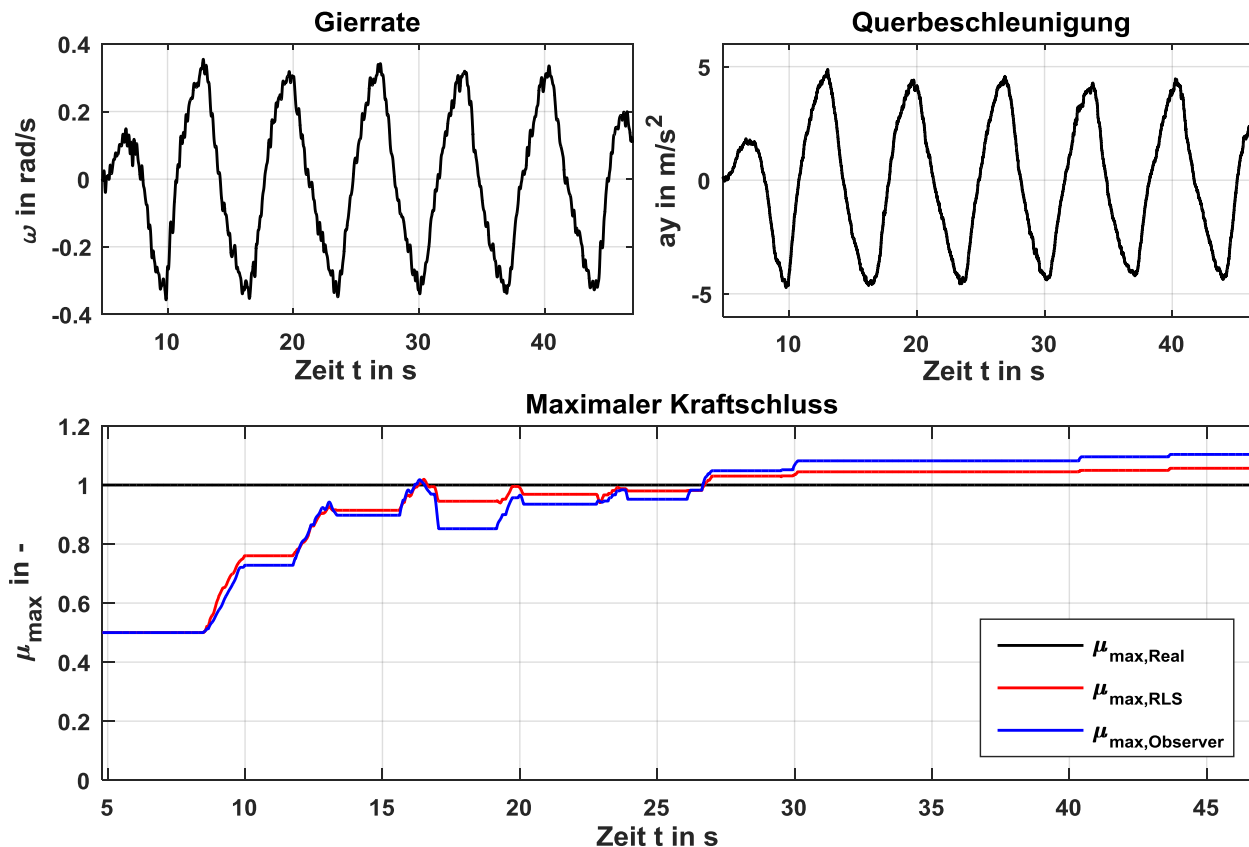
# Berücksichtigung des Fahrverhaltens

Beispiel: *Schätzung des maximalen Kraftschlusses*



# Berücksichtigung des Fahrverhaltens

## Beispiel: Schätzung des maximalen Kraftschlusses



→ Bei ausreichender dynamischer Anregung **gute Übereinstimmung** zwischen **geschätztem maximalen Kraftschluss** und Referenzwert

# Agenda



- Was sind automatisierte Fahrfunktionen?
- Was bedeutet Automatisierung in Bezug auf Fahrdynamik?
- Wie kann geändertes Fahrverhalten berücksichtigt werden?
- **Zusammenfassung und Ausblick**

## Zusammenfassung

- Mit steigendem Automatisierungsgrad wird **kein menschlicher Fahrer** mehr benötigt
- Automatisierte Fahrfunktionen müssen **Änderungen im Fahrverhalten** des Fahrzeugs berücksichtigen
  - z.B. aufgrund von **unterschiedlichen Beladungszuständen** oder veränderlichem **Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn**
- Für die „Beifahrer“ der automatisierten Fahrfunktion muss ein **hohes Niveau an Vertrauen und Akzeptanz** gewährleistet werden

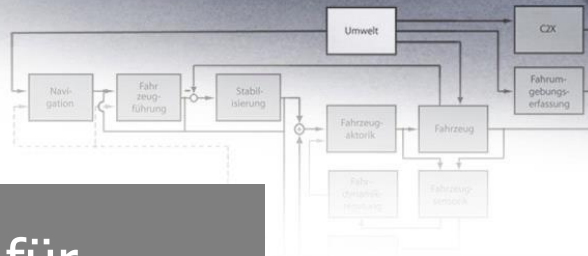
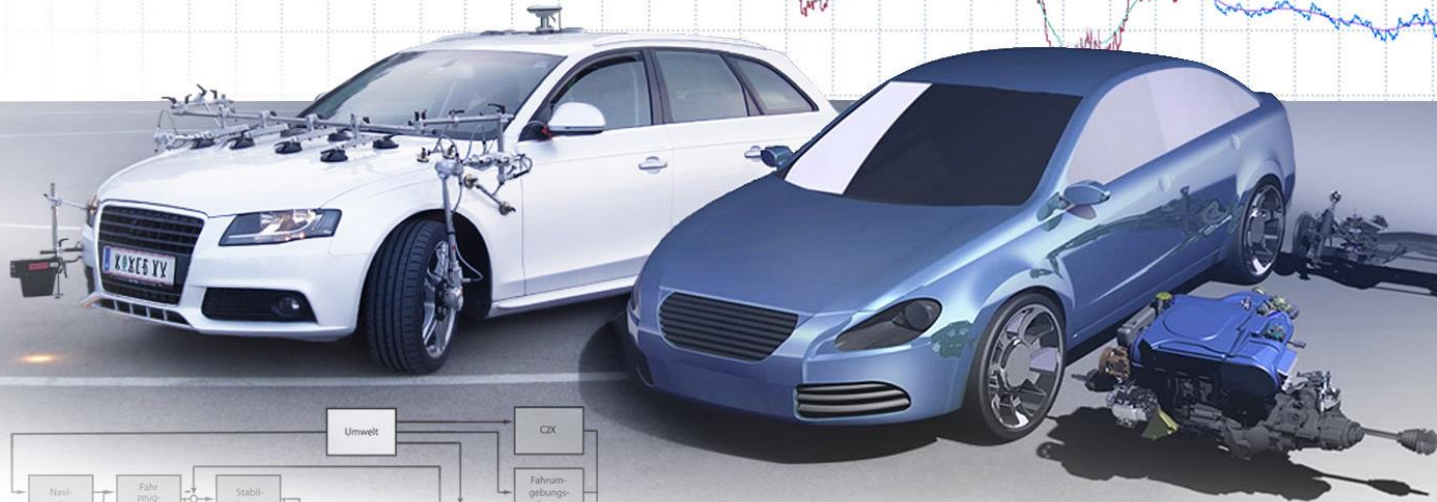
Anpassung der Algorithmen an Fahrverhalten...

*Pflicht ? Kür ? Aufwendige Spielerei ?*

## Pflicht und/oder Kür

- **Reifen-Fahrbahn-Kraftschluss  $\mu$** 
  - **Pflicht ab SAE 3+** („*monitoring driving environment*“)
  - **Fahrstrategie** muss darauf angepasst sein
  - Fahrer als „*Fallback*“ nicht ausreichend (Übernahmezeiten)
- **Fahrzeugmasse  $m$** 
  - In Normalsituation **theoretisch Kür** (konservative Fahrstrategie)
  - In **kritischer Fahrsituation praktisch Pflicht**
- **Fahrbahnsteigung  $\beta$** 
  - *Pflicht? Kür?*
  - Ausschlaggebend beim Beschleunigen und Ausweichen von kritischen Fahrsituationen
  - Interessant für **Betriebsstrategie**  
(*Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch und Reichweite*)

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



Danke für  
Ihre  
Aufmerksamkeit !

Graz University of Technology  
Institute of Automotive Engineering

Martin Schabauer, BSc  
Research Area for Vehicle Dynamics  
Inffeldgasse 11/2  
8010 Graz, Austria

Tel.: +43 316 873 35271  
Fax: +43 316 873 35202

E-Mail: martin.schabauer@tugraz.at  
Web: <http://www.ftg.tugraz.at>



# Bibliographie

- **BMW Group Forschung und Technik. (2017).** Online verfügbar: <http://www.elektroniknet.de/elektronik-automotive/assistentensysteme/hochautomatisiertes-fahren-fuer-mehr-sicherheit-84230.html> [03.10.2017]
- **Hackl, A., Hirschberg, W., Lex, C. & Rill, G. (2017).** *Parametrization Process of the Maxwell Model to Describe Transient Force Behavior of a Tire.* SAE Technical Paper 2017-01-1505, 2017. DOI: 10.4271/2017-01-1505.
- **Karoshi, P., Ager, M., Schabauer, M. & Lex, C. (2017).** *Robust and Numerically Efficient Estimation of Vehicle Mass and Road Grade.* Advanced Microsystems for Automotive Applications 2017 (Lecture Notes in Mobility). Cham, CH: Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-66972-4\_8.
- **Lex, C., Schabauer, M., Semmer, M., Holzinger, J., Schlömicher, T., Eichberger, A. & Koglbauer, I. (2017).** *Objektive Erfassung und subjektive Bewertung menschlicher Trajektorienwahl in einer „Naturalistic Driving Study“.* 9. VDI-Tagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“. Braunschweig, DE: VDI Verlag GMBH.
- **SAE International. (2017).** Online verfügbar: <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/sae-levels-driving-automation> [03.10.2017]
- **Samiee, S., Azadi, S., Kazemi, R. & Eichberger, A. (2016).** *Towards a Decision-Making Algorithm for Automatic Lane Change Manoeuvre Considering Traffic Dynamics.* Promet – Traffic&Transportation, Vol.28, 2016, No.2, 91-103.

## Bibliographie

- **Schabauer, M., Hackl, A. & Lex, C. (2017).** *Ermittlung von Reifeneigenschaften für die Feststellung der Verkehrssicherheit im Rahmen der Hauptuntersuchung.* ZVS-Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 63 (3), 59-67. ISSN 0044-3654.
- **Schabauer, M., Hackl, A., Lex, C., Shao, L. & Freimüller, P. (2016).** *Parameterbestimmung – Limitierender Faktor für Fahrzeugregelsysteme der Zukunft ?.* Wien, AT: 14. OEAMTC Symposium „Reifen und Fahrwerk“.
- **Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F. & Singer, C. (2015).** *Handbuch Fahrerassistenzsysteme.* Wiesbaden, DE: Springer. ISBN 978-3-658-05733-6.