

# Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp



## Vorlesungsübersicht

<b>01 Einführung</b> 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	<b>01 Einführung</b> 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	<b>01 Übung Einführung</b> 28.04.2022 – Hoffmann
<b>02 Sensorik / Wahrnehmung I</b> 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	<b>02 Sensorik / Wahrnehmung I</b> 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	<b>02 Sensorik / Wahrnehmung I</b> 05.05.2022 – Prof. Lienkamp
<b>03 Sensorik / Wahrnehmung II</b> 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	<b>03 Sensorik / Wahrnehmung II</b> 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	<b>03 Übung Sensorik / Wahrnehmung II</b> 12.05.2022 – Schimpe
<b>04 Sensorik / Wahrnehmung III</b> 19.05.2022 – Schimpe	<b>04 Sensorik / Wahrnehmung III</b> 19.05.2022 – Schimpe	<b>04 Übung Sensorik / Wahrnehmung III</b> 19.05.2022 – Schimpe
<b>05 Funktionslogik / Regelung</b> 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	<b>05 Funktionslogik / Regelung</b> 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	<b>05 Funktionslogik / Regelung</b> 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler
<b>06 Übung Funktionslogik / Regelung</b> 09.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	<b>06 Funktionale Systemarchitektur</b> 09.06.2022 – Prof. Lienkamp	<b>06 Aktorik</b> 09.06.2022 – Prof. Lienkamp
<b>07 Deep Learning</b> 23.06.2022 – Majstorovic	<b>07 Deep Learning</b> 23.06.2022 – Majstorovic	<b>07 Übung Deep Learning</b> 23.06.2022 – Majstorovic
<b>08 MMI</b> 30.06.2022 – Prof. Bengler	<b>08 MMI</b> 30.06.2022 – Prof. Bengler	<b>08 MMI Übung</b> 30.06.2022 – Prof. Bengler
<b>09 Controllability</b> 07.07.2022 – Prof. Bengler	<b>09 Controllability</b> 07.07.2022 – Prof. Bengler	<b>09 Übung Controllability</b> 07.07.2022 – Winkle
<b>10 Entwicklungsprozess</b> 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	<b>10 Entwicklungsprozess</b> 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	<b>10 Übung Entwicklungsprozess</b> 14.07.2022 – Hoffmann
<b>11 Analyse und Bewertung FAS</b> 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig	<b>11 Analyse und Bewertung FAS</b> 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig	<b>11 Übung Analyse und Bewertung FAS</b> 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig
<b>12 Aktuelle und künftige Systeme</b> 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	<b>12 Aktuelle und künftige Systeme</b> 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	<b>12 Aktuelle und künftige Systeme</b> 28.07.2022 – Prof. Lienkamp

## Übung Einführung Simon Hoffmann, M.Sc.

### Agenda

1. Grundlagen der Fahrdynamik
2. Grundlagen der Regelungstechnik



## Übung Einführung Simon Hoffmann, M.Sc.

### Agenda

---

1. Grundlagen der Fahrdynamik
2. Grundlagen der Regelungstechnik



# Umfrage

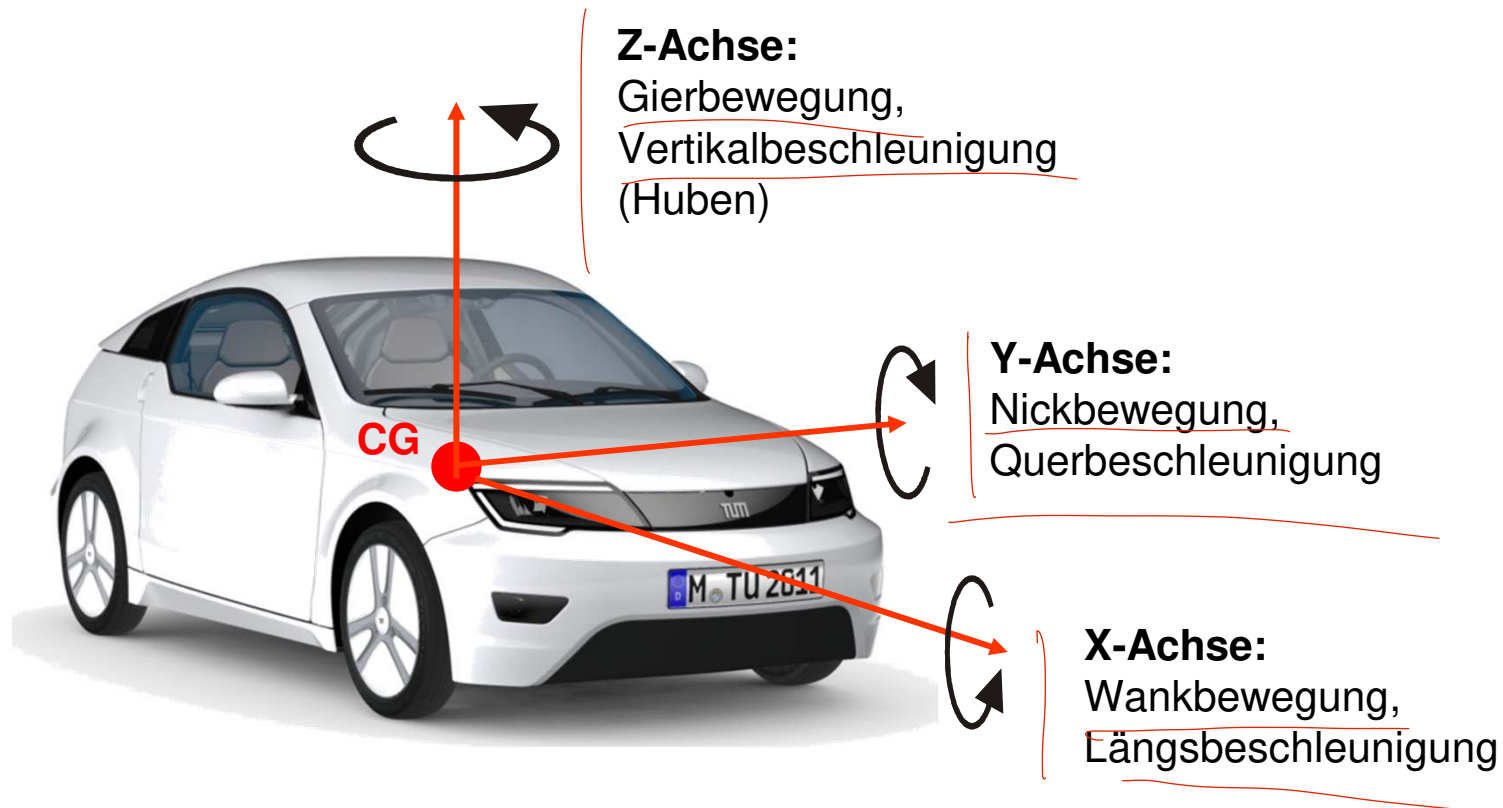
- 谁知道贪婪率是多少?

- 谁知道浮动角这个词?

- 谁知道 "倾斜刚度" 这个词?

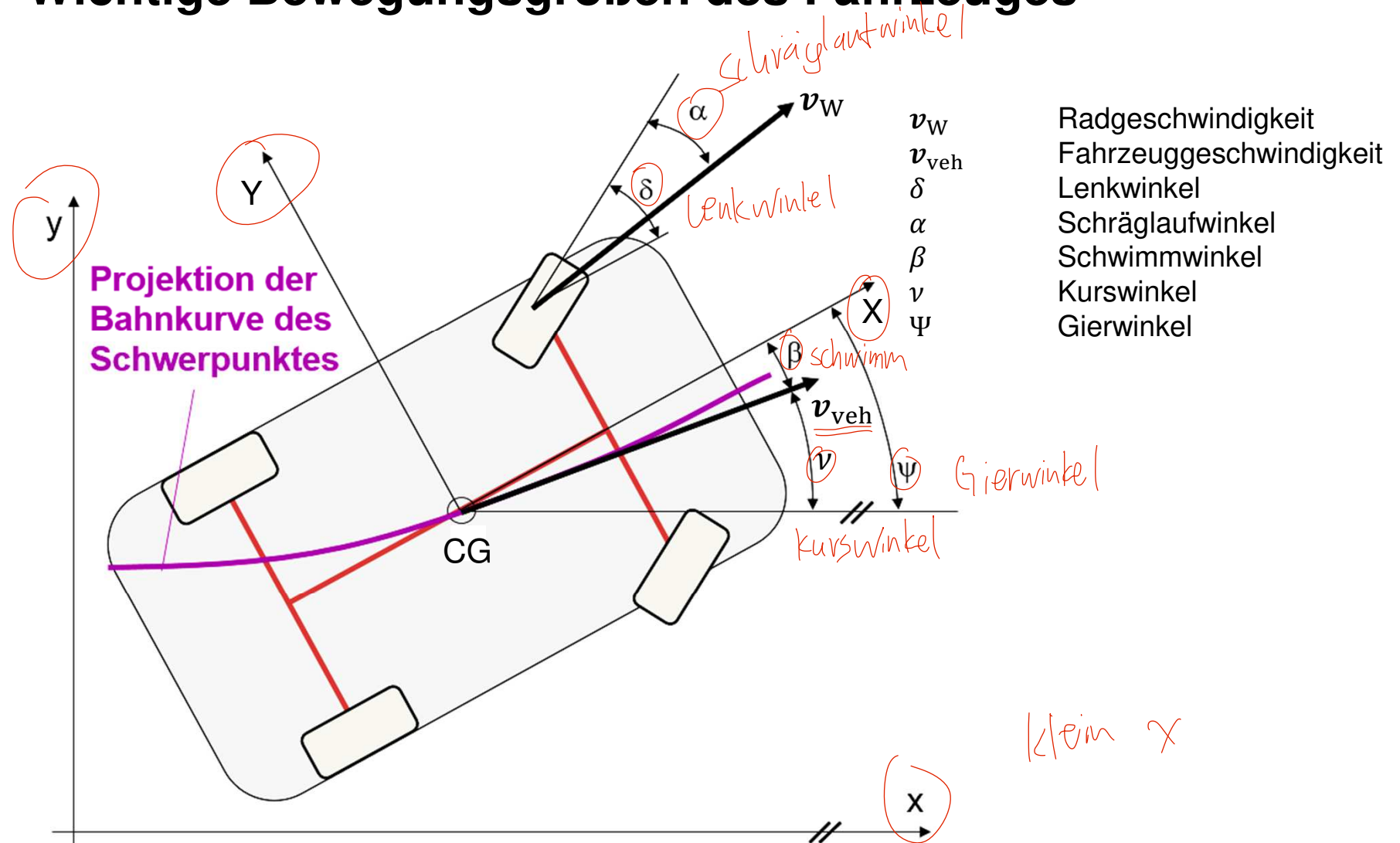
- Wer kennt den Begriff Gierrate?
- Wer kennt den Begriff Schwimmwinkel?
- Wer kennt den Begriff Schräglaufsteifigkeit?

# Koordinatensystem zur Definition von Fahrzeugbewegungen



Betrachtung im fahrzeugfesten, horizontalen Koordinatensystem

# Wichtige Bewegungsgrößen des Fahrzeuges

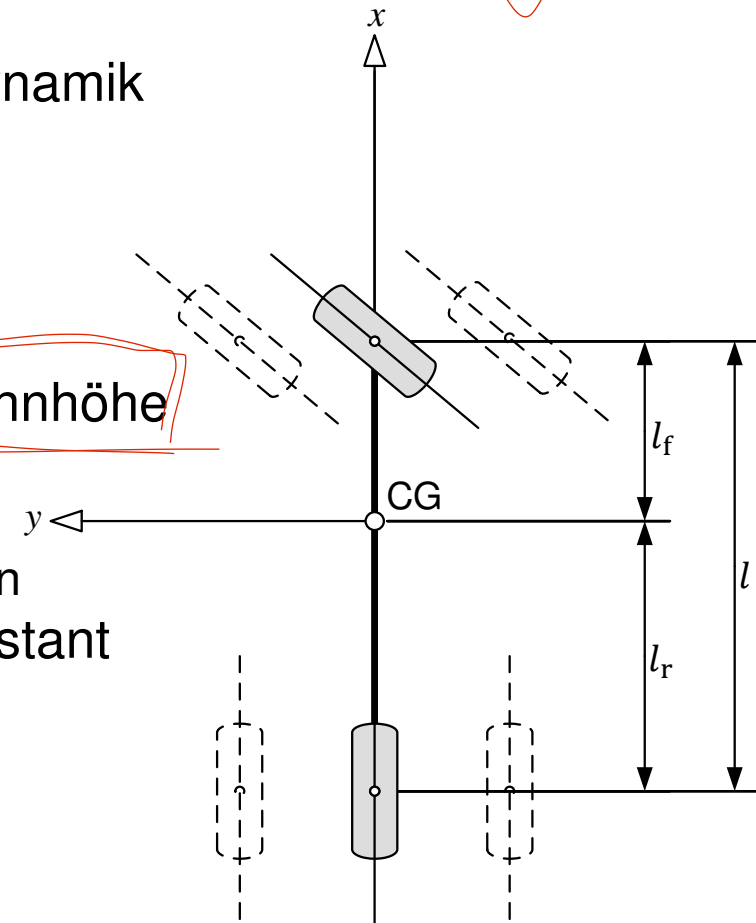


# Einspurmodell – Annahmen

Einfachstes Fahrzeugmodell, das Querdynamik abbildet

Vereinfachungen:

- Räder einer Achse werden zusammengefasst
- Schwerpunkt befindet sich auf Fahrbahnhöhe
  - kein Wanken
  - kein Nicken
  - keine Radlastunterschiede vorne/hinten
- Fahrzeuggängsgeschwindigkeit ist konstant
- keine Vertikaldynamik
- kleine Winkel





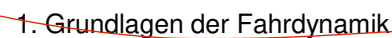
- $$\tan \delta_A = \frac{l}{\sqrt{R_A^2 - l_r^2}} \rightarrow \delta_A \approx \frac{l}{R_A}$$

$$R_A \gg r$$

## Momentanpol

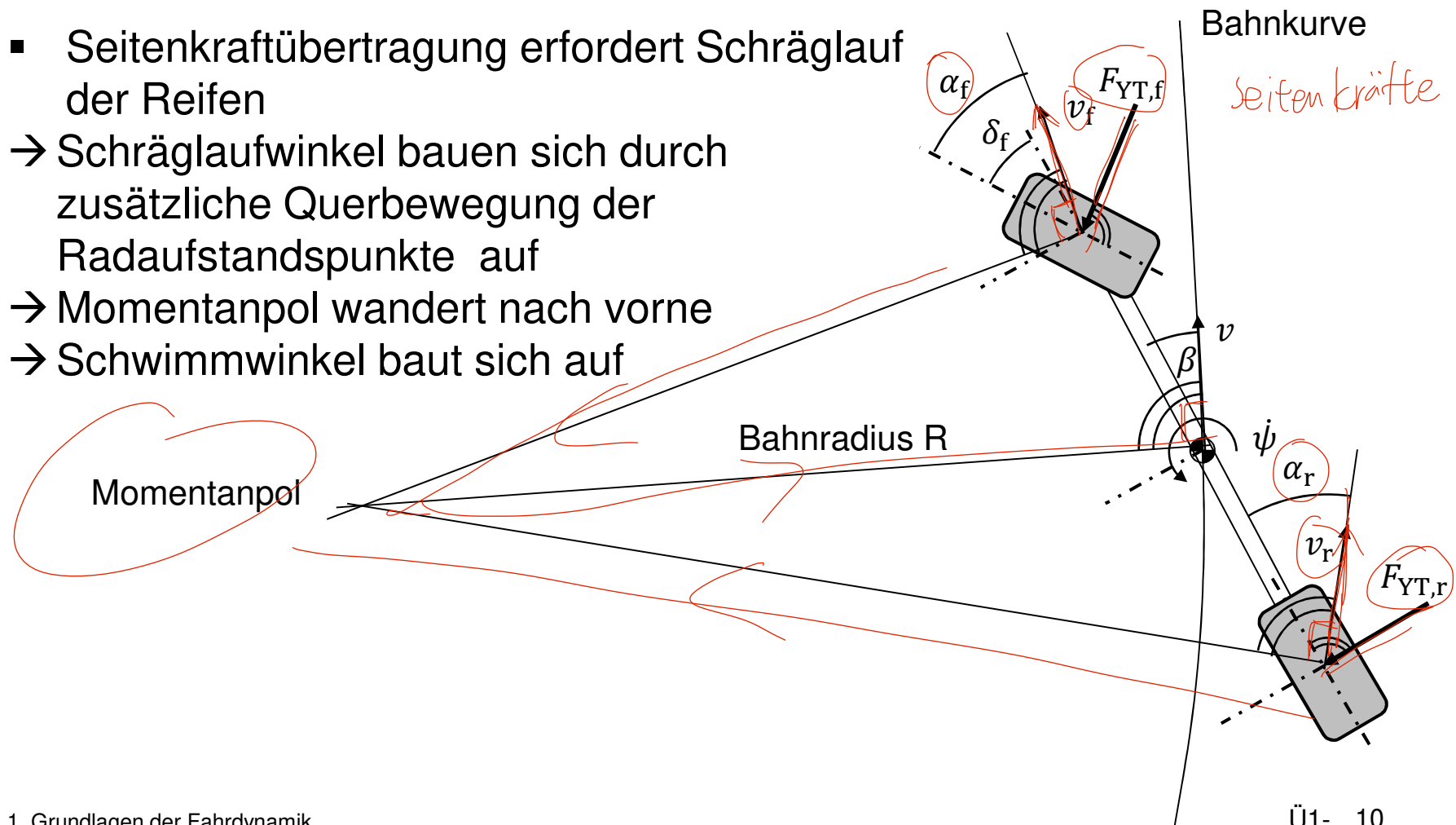
$$\delta_{\text{f}} = \delta_{\text{A}}$$

Bahnradius  $R_A$



# Kurvenfahrt mit Querbewegung

- Seitenkraftübertragung erfordert Schräglauf der Reifen
- Schräglaufwinkel bauen sich durch zusätzliche Querbewegung der Radaufstandspunkte auf
- Momentanpol wandert nach vorne
- Schwimmwinkel baut sich auf



## Übung Einführung Simon Hoffmann, M.Sc.

### Agenda

1. Grundlagen der Fahrdynamik
2. **Grundlagen der Regelungstechnik**



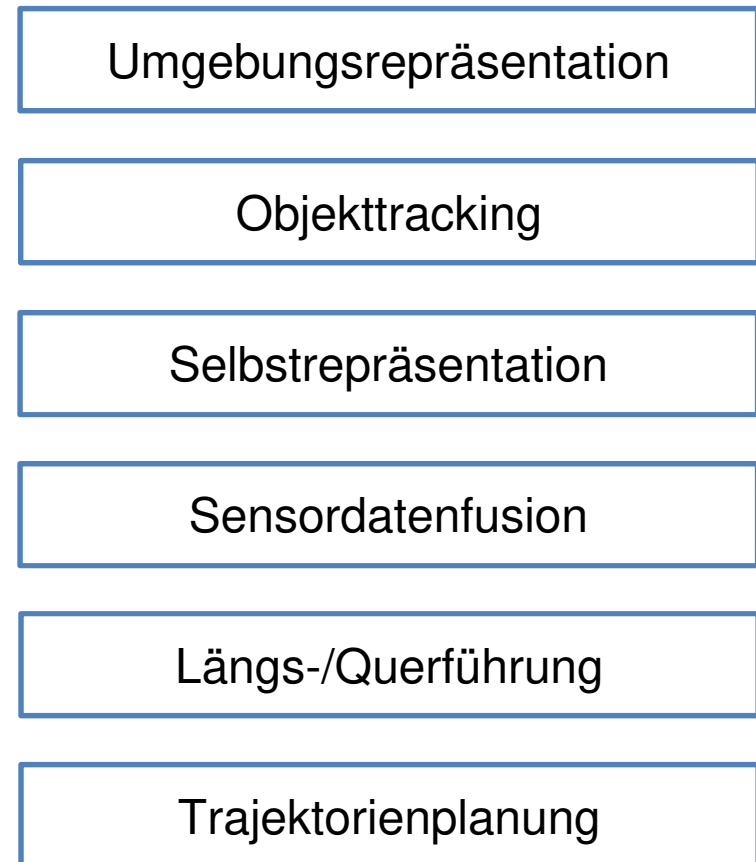
# Umfrage

- Wer hat die Grundlagenvorlesung „Regelungstechnik“ von Prof. Lohmann gehört?
- Wer hat die Vorlesung „Systemtheorie“ von Prof. Lohmann gehört?
- Wer hat die Vorlesungen „Moderne Methoden der Regelungstechnik“ von Prof. Lohmann gehört?

# Motivation

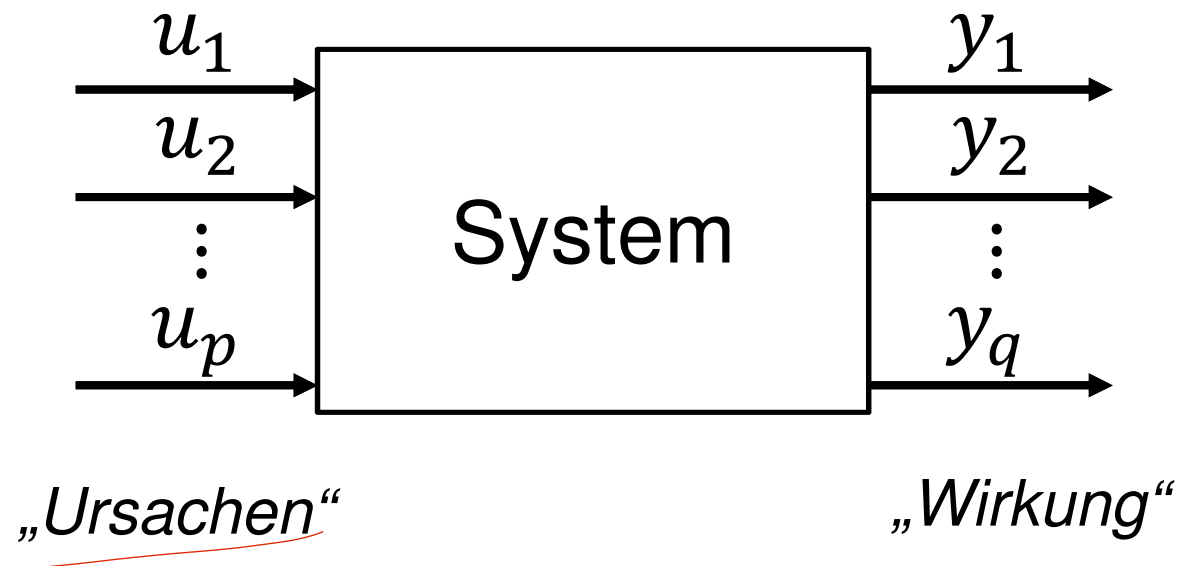
Anwendung von Systemtheorie / Regelungstechnik in VL-Kapiteln

<b>02 Sensorik / Wahrnehmung I</b>
<b>03 Sensorik / Wahrnehmung II</b>
<b>04 Sensorik / Wahrnehmung III</b>
<b>05 Funktionslogik / Regelung</b>
<b>06 Funktionale Systemarchitektur / Aktorik</b>



## Definition System (abstrakt)

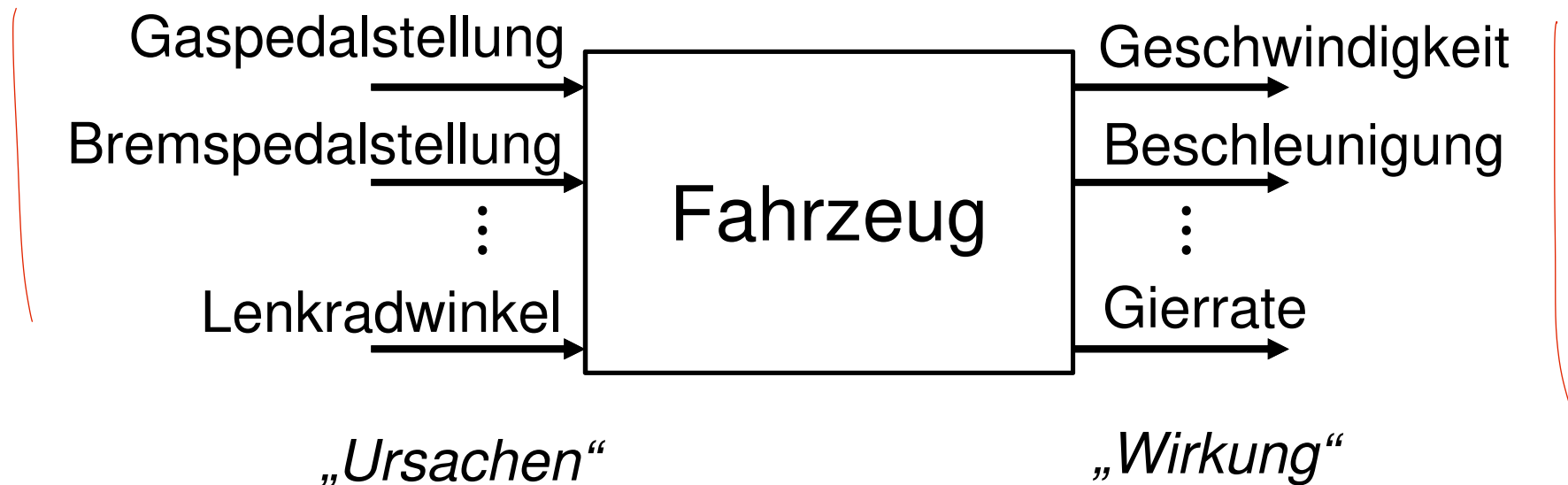
- Definition (System):  
Durch den Anwender gegenüber der Umgebung abgegrenzter  
Prozessteil, der über Ein- und Ausgangssignale mit der Umgebung  
in Verbindung steht.



Quelle: Systemtheorie der Mechatronik (Prof. Lohmann)

## Definition System (anschaulich)

- Definition (System):  
Durch den Anwender gegenüber der Umgebung abgegrenzter  
Prozessteil, der über Ein- und Ausgangssignale mit der Umgebung  
in Verbindung steht.

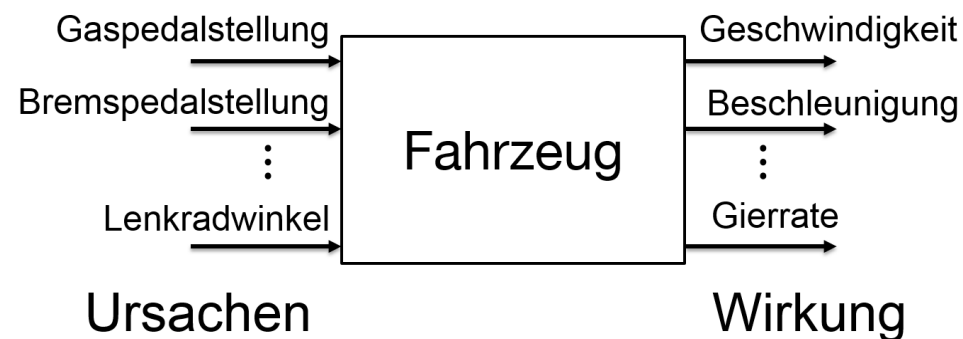


# Einführung Regelungstechnik

Ziel Regelungstechnik:

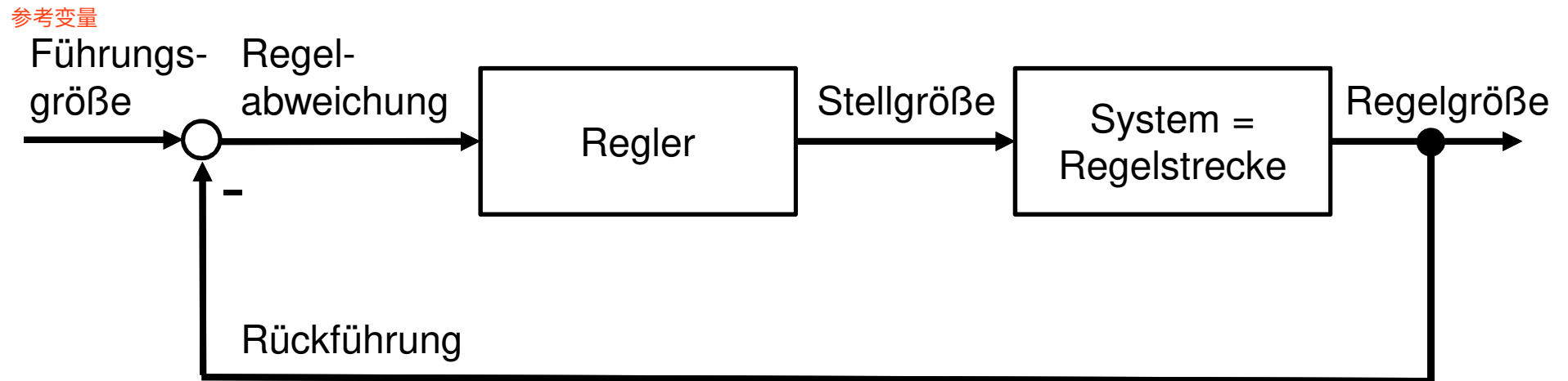
- gezielte Beeinflussung der Ausgangsgrößen
- Dynamik des Systems
- Stabilität von
  - systeminterne Größen (Übertragungsfunktion – Pole, Nullstellen)
  - Ein-/Ausgangsgrößen (Übertragungsstabilität)

*bestimmte Ausgang*



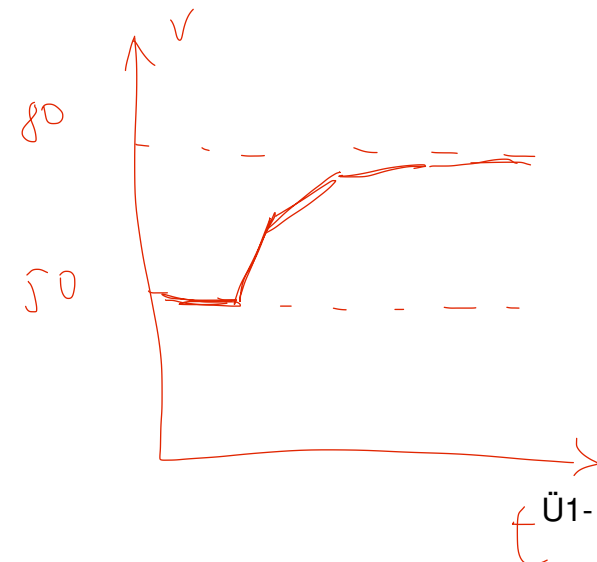
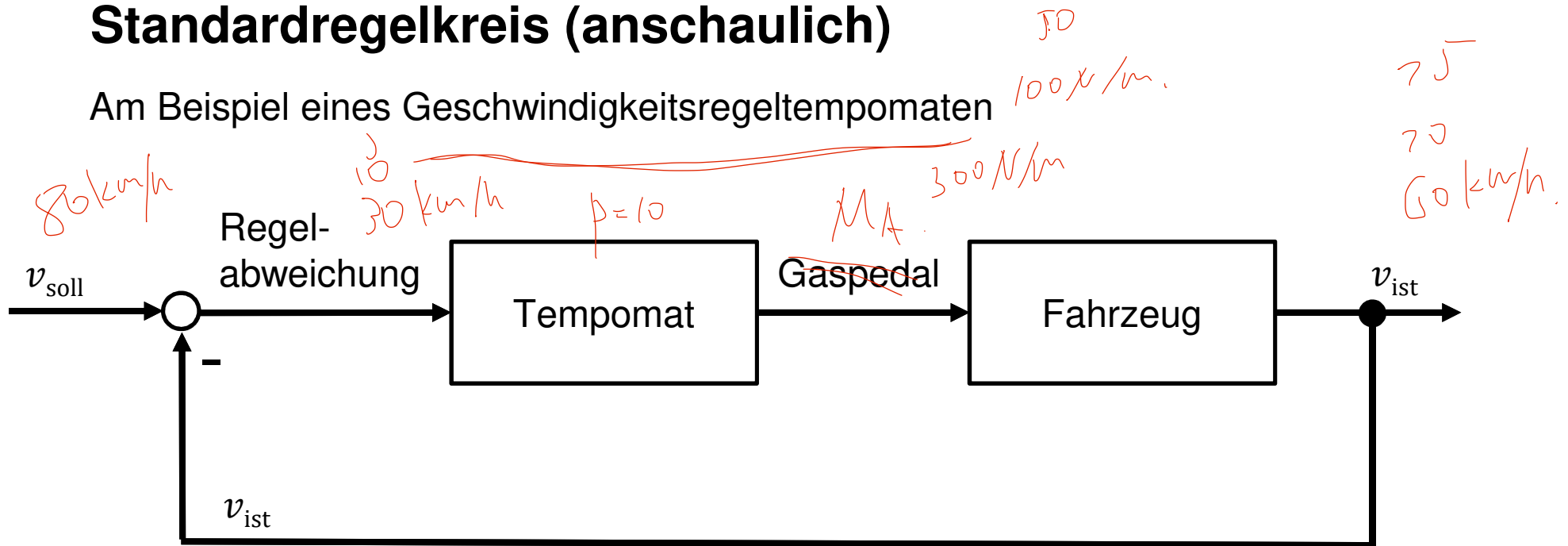


# Standardregelkreis (abstrakt)



# Standardregelkreis (anschaulich)

Am Beispiel eines Geschwindigkeitsregeltempomaten



# Modellierung

- Modell = vereinfachtes Abbild der Realität
- Vereinfachung ist stark abhängig von Funktion
- Extrembeispiele
  - Tempomat (Längsführung)
  - vs.
  - hochautomatisiertes Fahrzeug (Längs- und Querführung)

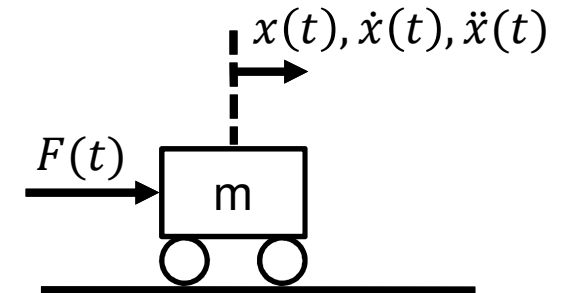


# Beispiele für mögliche Bewegungsmodelle

1-D Masse-Modell (zeitkontinuierlich)

- Physikalische Gleichung:  

$$u = \ddot{x}(t) = \frac{1}{m} F(t) \quad (\text{Newton})$$



- Zustandsgrößen:

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \end{bmatrix}$$

...einmal abgeleitet...  $\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \ddot{x}(t) \end{bmatrix}$

Umformung zu einem allgemeinen Zustandsraum-Modell der Form

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{b} \cdot u(t),$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{d} \cdot u(t)$$

Eingang

Ausgang

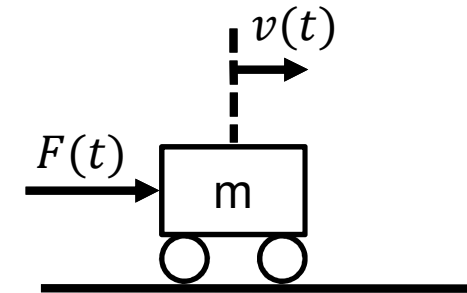
$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \ddot{x}(t) \end{bmatrix} = \dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} \cdot F(t), \quad \mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}(t)$$

# Beispiele für mögliche Bewegungsmodelle

## 2-D Masse-Modell (zeitkontinuierlich)

### ■ Gleichungen:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{cases} \square & \dot{v}_X(t) = \frac{1}{m} F_X(t) \\ \square & \dot{v}_Y(t) = \frac{1}{m} F_Y(t) \end{cases} \\ \dot{y}(t) &= \end{aligned}$$



### ■ Umformung mit $\underline{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ v_X(t) \\ v_Y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \end{bmatrix}$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \ddot{x}(t) \\ \ddot{y}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_X(t) \\ F_Y(t) \end{bmatrix}$$

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t)$$

$u(t) = \text{input}$

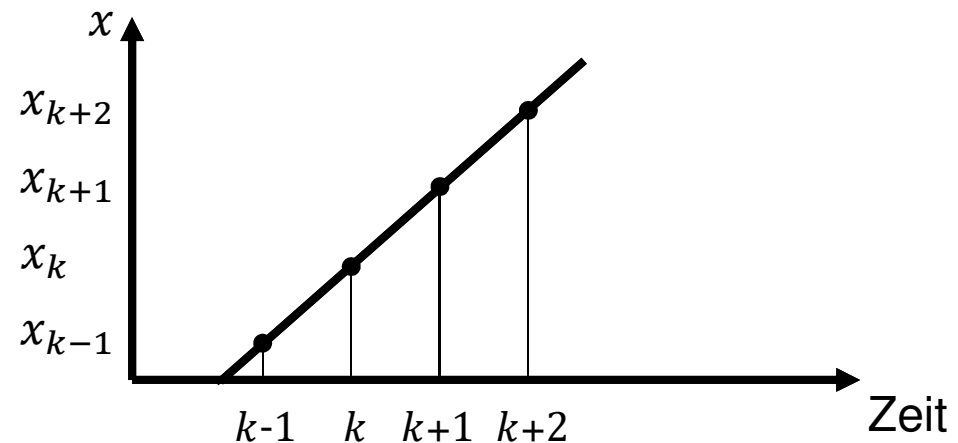
# Beispiele für mögliche Bewegungsmodelle

1-D Masse-Modell (zeitdiskret,  $k$  = Zeitschritte)

- Gleichung:

$$x_k = x_{k-1} + \Delta T \cdot v_{k-1}$$

- Annahme:  
 $v = \text{const.}$



- Umformung:

$$\begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix}_{k-1}$$

# Beispiele für mögliche Bewegungsmodelle

2-D Masse-Modell (zeitdiskret,  $k$  = Zeitschritte)

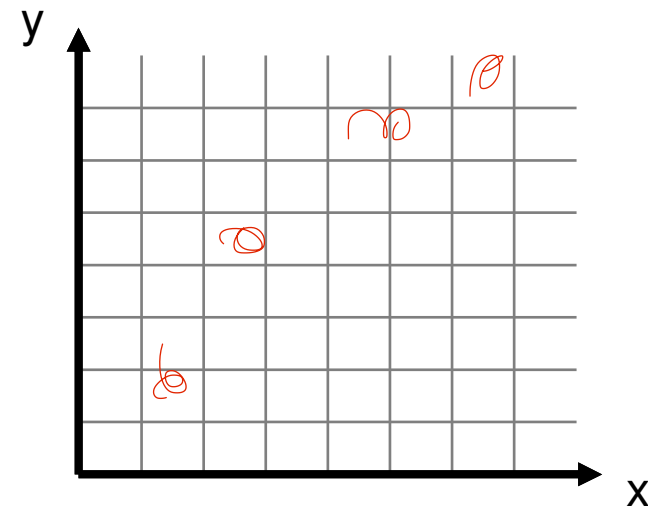
■ Gleichung:

$$\begin{cases} x_k = x_{k-1} + \Delta T \cdot v_{X,k-1} \\ y_k = y_{k-1} + \Delta T \cdot v_{Y,k-1} \end{cases}$$

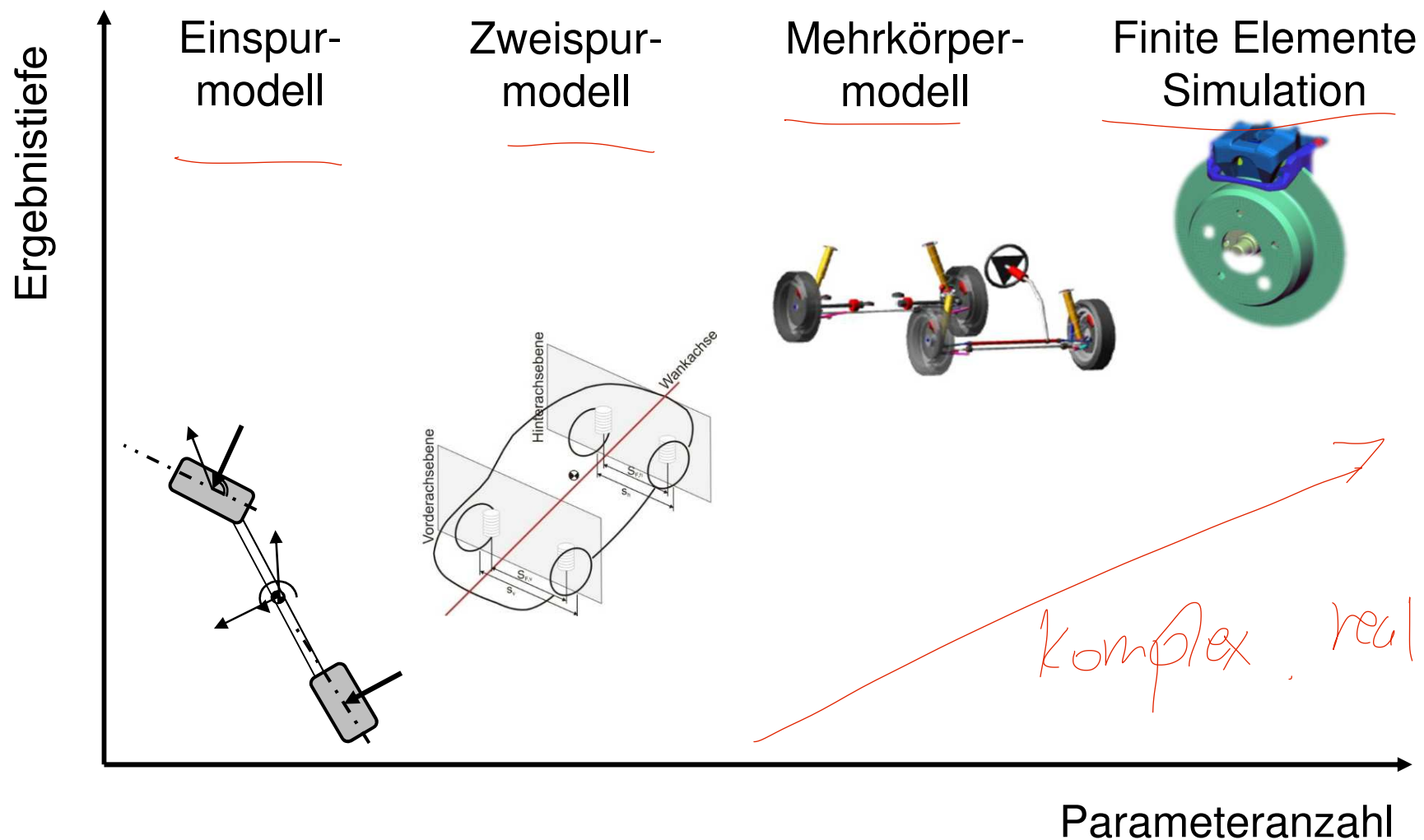
- Annahme:  
 $v = \text{const.}$

■ Umformung:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ v_X \\ v_Y \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ v_X \\ v_Y \end{bmatrix}_{k-1}$$



# Aussagekraft verschiedener Fahrzeugmodelle





# Einspurmodell – Lineares Zustandsraummodell

$$\dot{\underline{x}} = \underbrace{\begin{pmatrix} -\frac{c_{\alpha,f} + c_{\alpha,r}}{mv} & -1 + \frac{l_r c_{\alpha,r} - l_f c_{\alpha,f}}{mv^2} \\ \frac{l_r c_{\alpha,r} - l_f c_{\alpha,f}}{J_{zz}} & -\frac{l_f^2 c_{\alpha,f} + l_r^2 c_{\alpha,r}}{J_{zz} v} \end{pmatrix}}_A \cdot \underline{x} + \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{c_{\alpha,f}}{mv} \\ \frac{l_f c_{\alpha,f}}{J_{zz} v} \end{pmatrix}}_B \cdot u$$

Zustandsgrößen

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} \beta \\ \dot{\psi} \end{pmatrix}$$

Eingangsgröße

$$u = \delta_f$$

Als Ausgang wird hier die Querbeschleunigung gewählt:

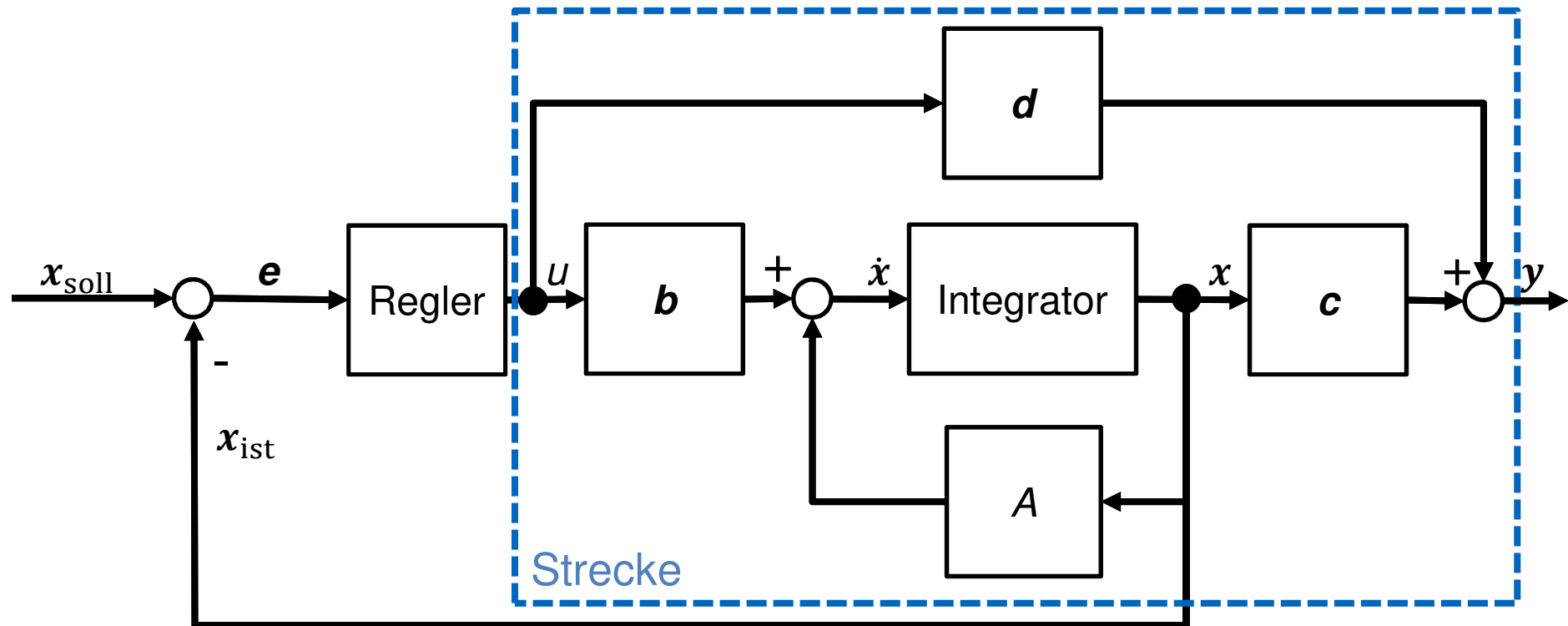
$$a_Y = \beta \cdot \left( -\frac{c_{\alpha,f} + c_{\alpha,r}}{m} \right) + \dot{\psi} \cdot \left( \frac{l_r c_{\alpha,r} - l_f c_{\alpha,f}}{mv} \right) + \delta_f \cdot \frac{c_{\alpha,f}}{m}$$

$$\underline{y} = \underbrace{\begin{pmatrix} -\frac{c_{\alpha,f} + c_{\alpha,r}}{m} & \frac{l_r c_{\alpha,r} - l_f c_{\alpha,f}}{mv} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}}_C \cdot \underline{x} + \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{c_{\alpha,f}}{m} \\ 0 \end{pmatrix}}_D \cdot u$$

Ausgangsgrößen

$$\underline{y} = \begin{pmatrix} a_Y \\ \dot{\psi} \end{pmatrix}$$

# Signalflussplan einer geregelten Strecke



Allgemeines Zustandsraum-Modell:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{b} \cdot u(t),$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{c}^T \cdot \mathbf{x}(t) + \mathbf{d} \cdot u(t)$$