

# Identifikation und Modellierung des menschlichen Fahrzeug- Folgeverhaltens

Gunda Obereigner

**Betreuung:**

Dipl.-Ing. Roman Schmied

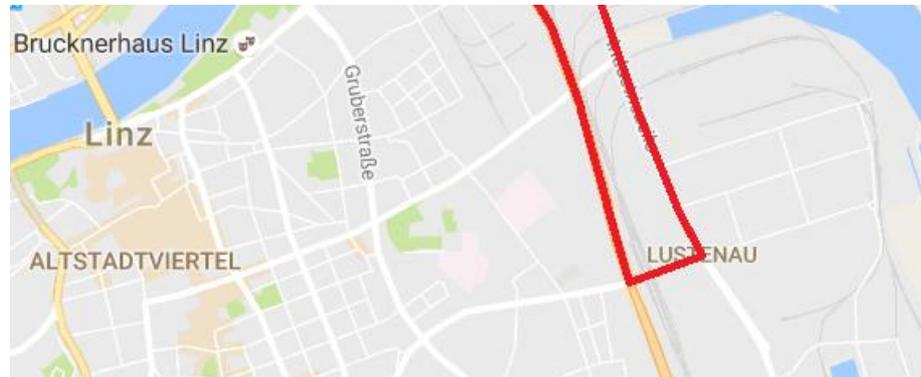
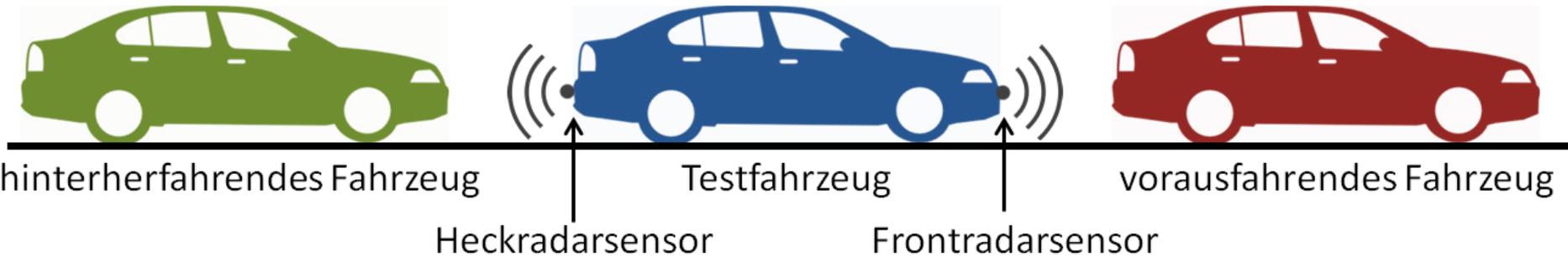
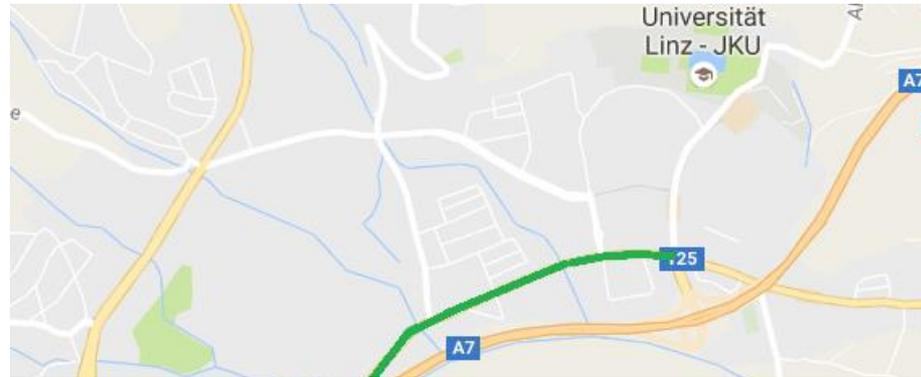
# Hintergrund und Ziel

- Hintergrund:
  - Test und Validierung von Fahrassistenzsystemen
  - Aussagen über Verkehrsfluss
  - Vorkommen von Auffahrunfälle reduzieren
- Ziel:
  - Erfassung, Analyse und Modellierung des menschlichen Fahrzeugfolgeverhaltens
  - Echtzeitfähige Schätzung des Fahrzeugfolgeverhaltens

# Einteilung

- Aufzeichnung von Messdaten
- Ansätze zur Modellierung des menschlichen Fahrzeugfolgeverhaltens und Identifikation der Ansätze
  - statisch
  - dynamisch
- Adaptive Parameterschätzung

# Aufzeichnung von Messdaten



# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: statisch

- Abstandsmodelle

$$\hat{d}(t) = d_0$$

$$\hat{d}_1(t) = t_{h1} \cdot v_{ego}(t)$$

$$\hat{d}_2(t) = t_{h2} \cdot \sqrt{v_{ego}(t)}$$

$$\hat{d}_3(t) = t_{h3} \cdot v_{ego}(t) + t_{h4} \cdot (v_{ego}(t) - v_{prec}(t))$$

- Kostenfunktionen

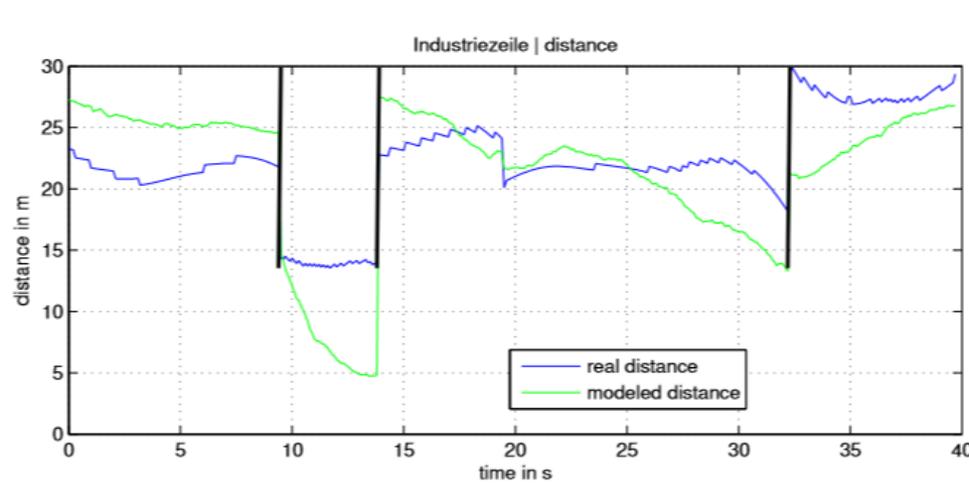
$$t_{h1}^* = \arg \min_{t_{h1}} \sum_N (d - \hat{d}_1)^2$$

$$t_{h2}^* = \arg \min_{t_{h2}} \sum_N (d - \hat{d}_2)^2$$

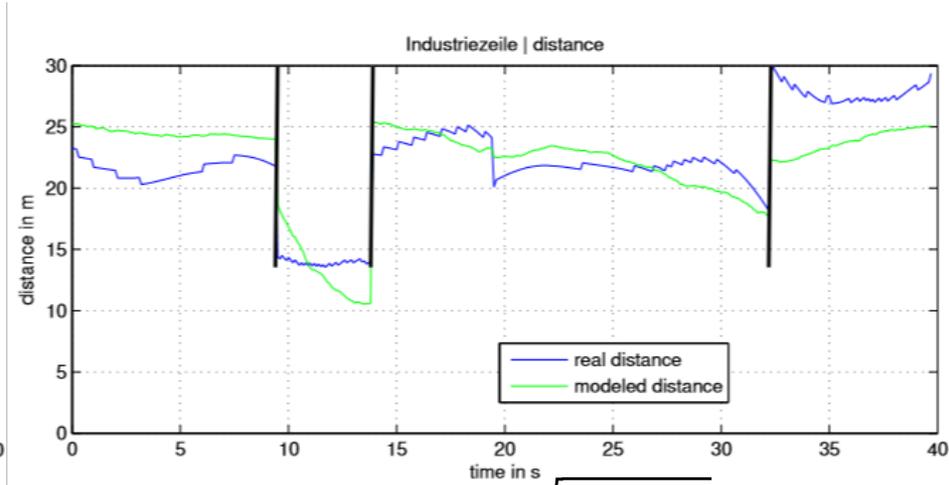
$$t_{h3}^*, t_{h4}^* = \arg \min_{t_{h3}, t_{h4}} \sum_N (d - \hat{d}_3)^2$$

# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: statisch

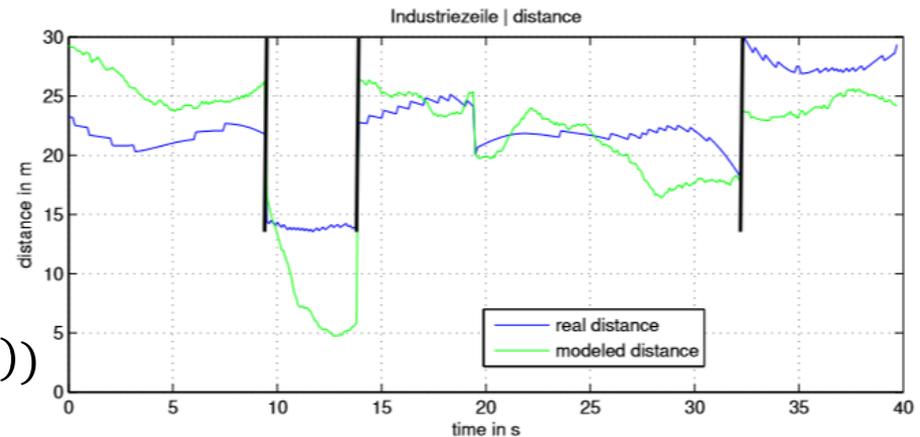
- Gemessener und identifizierter Abstand



$$\hat{d}_1(t) = t_{h1} \cdot v_{ego}(t)$$



$$\hat{d}_2(t) = t_{h2} \cdot \sqrt{v_{ego}(t)}$$



$$\hat{d}_3(t) = t_{h3} \cdot v_{ego}(t) + t_{h4} \cdot (v_{ego}(t) - v_{prec}(t))$$

# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: statisch

- Identifizierte zeitliche Abstände

	$t_{h1}^*$ in s	$t_{h2}^*$ in s	$t_{h3}^*$ in s	$t_{h4}^*$ in s
Industriezeile	3.08	11.35	3.08	9.12
	1.62	5.99	1.62	0.00
	2.08	7.83	2.08	0.16
	1.47	5.34	1.47	0.00
	1.62	5.84	1.62	0.00
	2.12	7.04	2.11	1.71
	2.81	10.03	2.81	0.00
	1.92	7.00	1.91	0.78
Mittelwert	2.09	7.55	2.09	1.47
Mühlkreisautobahn	1.14	5.31	1.14	0.00
	1.34	5.89	1.34	0.00
	1.79	8.18	1.74	0.00
	2.09	9.9	2.09	3.84
	1.28	6.16	1.28	0.00
	1.01	4.34	0.88	0.00
Mittelwert	1.44	6.63	1.43	0.64

$$\hat{d}_1(t) = t_{h1} \cdot v_{ego}(t)$$

$$\hat{d}_3(t) = t_{h3} \cdot v_{ego}(t) + t_{h4} \cdot (v_{ego}(t) - v_{prec}(t))$$

# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: statisch

- FIT-Werte für  $t_{h4}^* \neq 0$

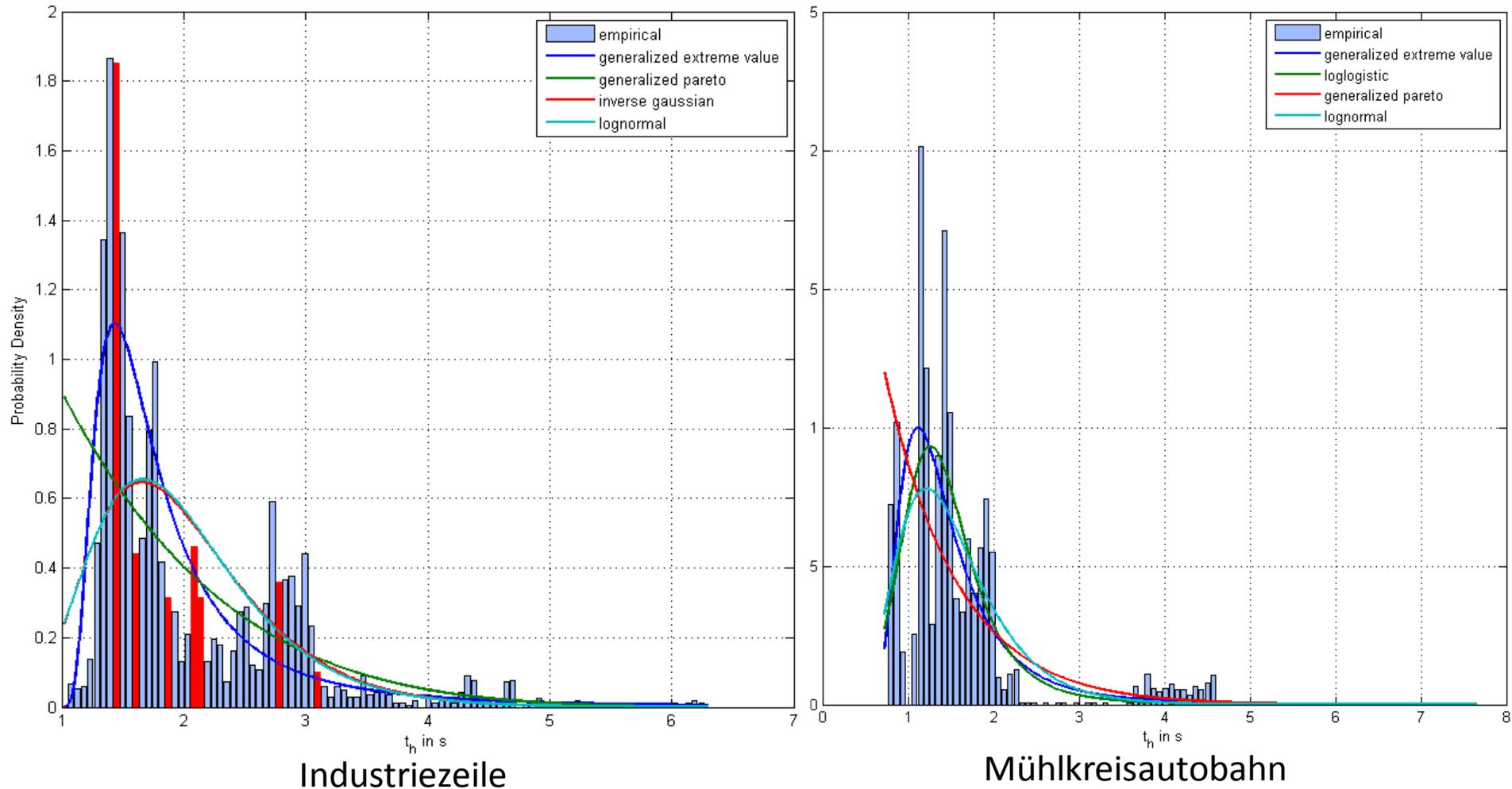
	$\hat{d}_1(t)$	$\hat{d}_3(t)$
FIT-Wert in %	-4.87	-3.12
	25.67	25.67
	-7.36	-2.34
	-13.93	-13.80
	-12.56	-7.61

$$\hat{d}_1(t) = t_{h1} \cdot v_{ego}(t)$$

$$\hat{d}_3(t) = t_{h3} \cdot v_{ego}(t) + t_{h4} \cdot (v_{ego}(t) - v_{prec}(t))$$

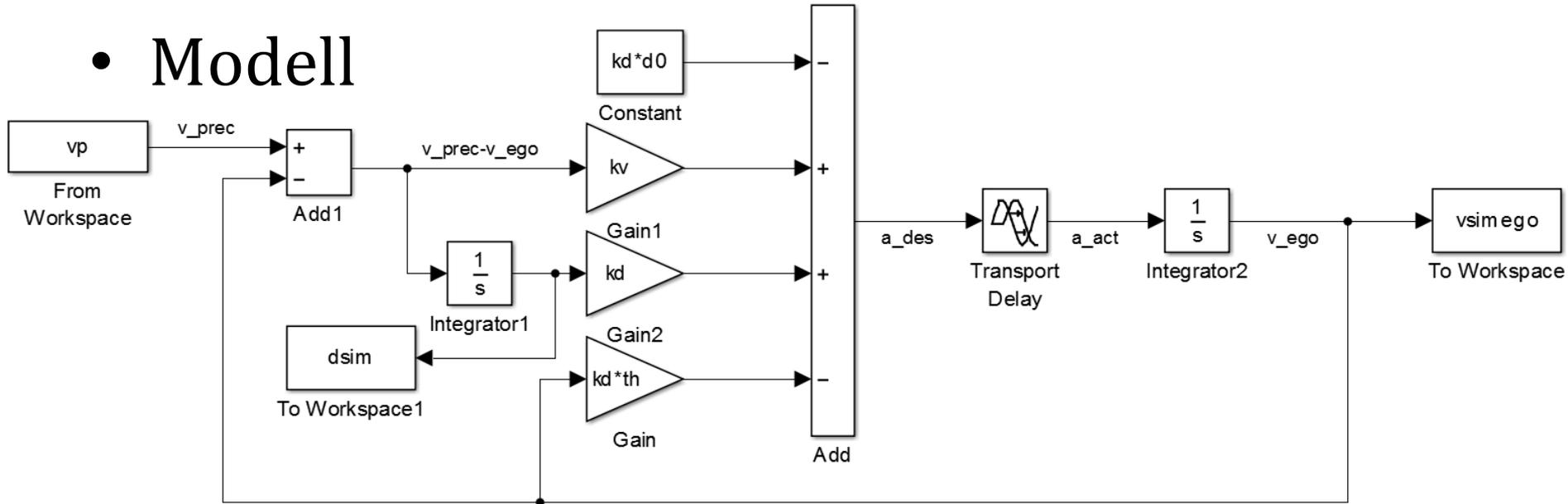
# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: statisch

- Verteilung des zeitlichen Abstandes



# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: dynamisch

- Modell



$$a_{des}(t) = k_d \cdot (d(t) - v_{ego}(t) \cdot t_h - d_0) + k_v \cdot (v_p(t) - v_{ego}(t))$$

$$a_{act}(t) = a_{des}(t - T_r)$$

---


$$x(t) = [d(t) \quad v_{ego}(t)]^T \quad u(t) = v_{prec}(t)$$

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_d & -k_d t_h - k_v \end{bmatrix} x(t - T_r) + \begin{bmatrix} 0 \\ k_v \end{bmatrix} u(t - T_r) - \begin{bmatrix} 0 \\ k_d \end{bmatrix} d_0$$

# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: dynamisch <sup>1/2</sup>

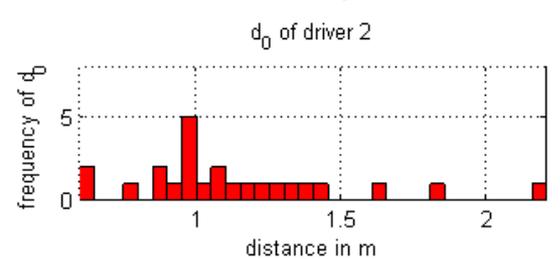
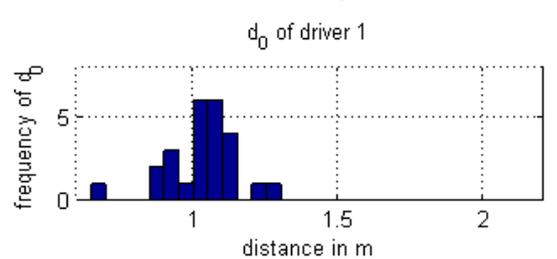
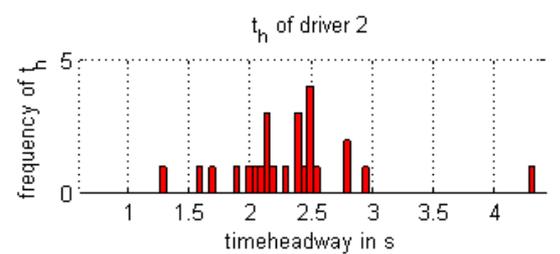
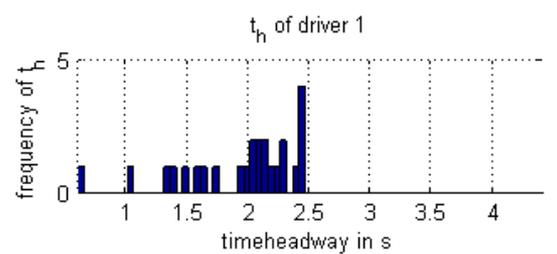
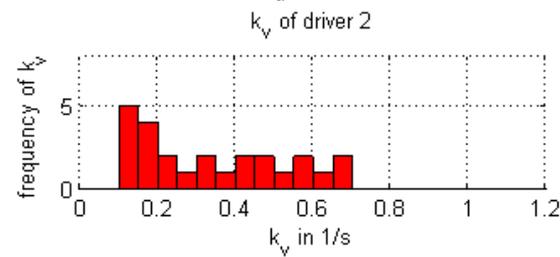
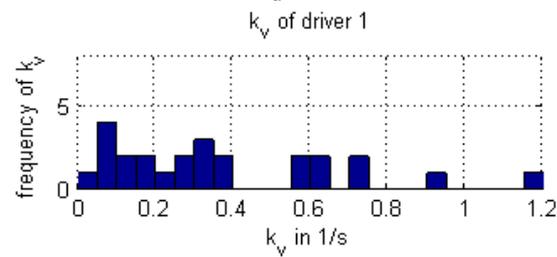
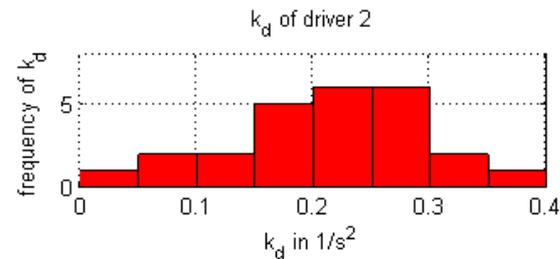
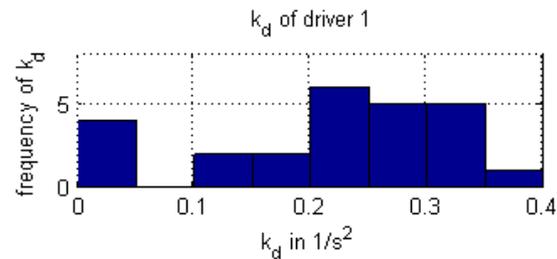
- Kostenfunktion

$$\arg \min_{k_d, k_v, t_h, T_r, d_0} \sum_N \sqrt{(d - d_{sim})^2 + (v_{ego} - v_{ego, sim})^2}$$

$$\arg \min_{k_d, k_v, t_h, d_0} \sum_N \sqrt{(d - d_{sim})^2 + (v_{ego} - v_{ego, sim})^2}$$

# Modellierung des Fahrzeugfolgeverhaltens: dynamisch <sup>2/2</sup>

- Identifizierte Parameter zweier Fahrer



# Adaptive Parameterschätzung des dynamischen Modells

- Rekursiver Least Squares Algorithmus

$$\hat{y}_k = \varphi_k^\top \theta$$

$$\hat{\theta}_k = \hat{\theta}_{k-1} + K_k \left( y_k - \varphi_k^\top \hat{\theta}_{k-1} \right)$$

$$K_k = P_{k-1} \varphi_k \left( \lambda I + \varphi_k^\top P_{k-1} \varphi_k \right)^{-1}$$

$$P_k = \frac{1}{\lambda} P_{k-1} \left( I - \varphi_k \left( \lambda I + \varphi_k^\top P_{k-1} \varphi_k \right)^{-1} \varphi_k^\top P_{k-1} \right)$$

# Adaptive Parameterschätzung des dynamischen Modells

- **Dynamisches Modell**  $x(t) = [d(t) \quad v_{ego}(t)]^T$   
 $u(t) = v_{prec}(t)$

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_d & -k_d t_h - k_v \end{bmatrix} x(t - T_r) + \begin{bmatrix} 0 \\ k_v \end{bmatrix} u(t - T_r) - \begin{bmatrix} 0 \\ k_d \end{bmatrix} d_0$$

- **Diskretisierung**

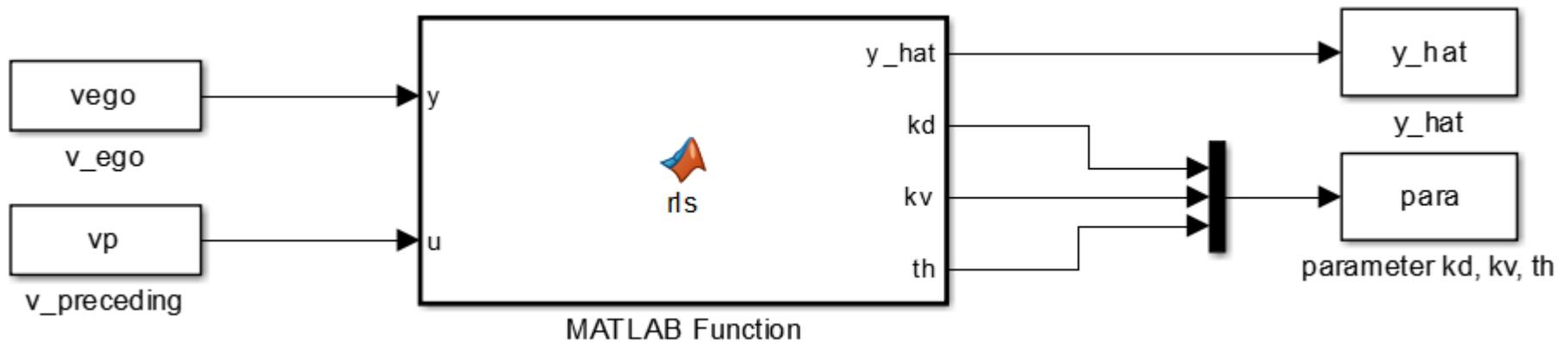
$$\begin{bmatrix} d_{k+1} \\ v_{ego_{k+1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_k \\ v_{ego_k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_s \\ 0 \end{bmatrix} v_{prec_k} + \begin{bmatrix} \frac{T_s^2}{2} k_d & -\frac{T_s^2}{2} (k_d t_h + k_v) \\ T_s k_d & -T_s (k_d t_h + k_v) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{k-K_r} \\ v_{ego_{k-K_r}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{T_s^2}{2} k_v \\ T_s k_v \end{bmatrix} v_{prec_{k-K_r}}$$

- **Input/Output Form**

$$y_k = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_k \\ v_{ego_k} \end{bmatrix}$$

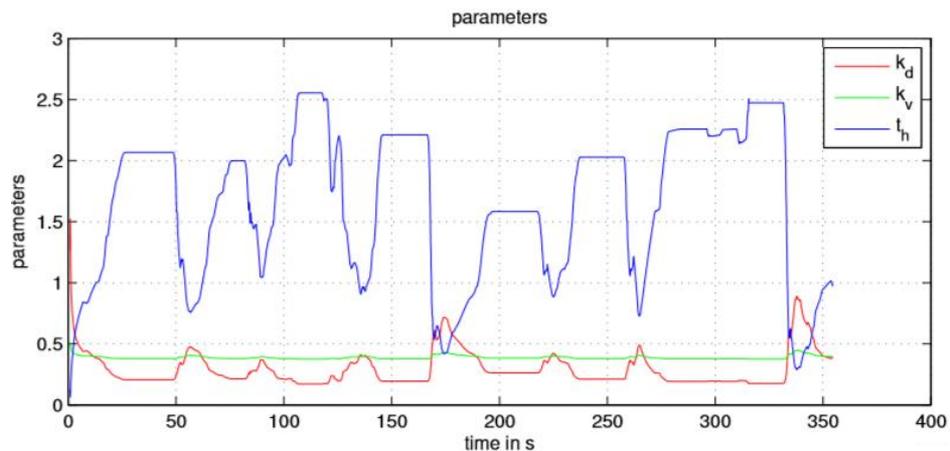
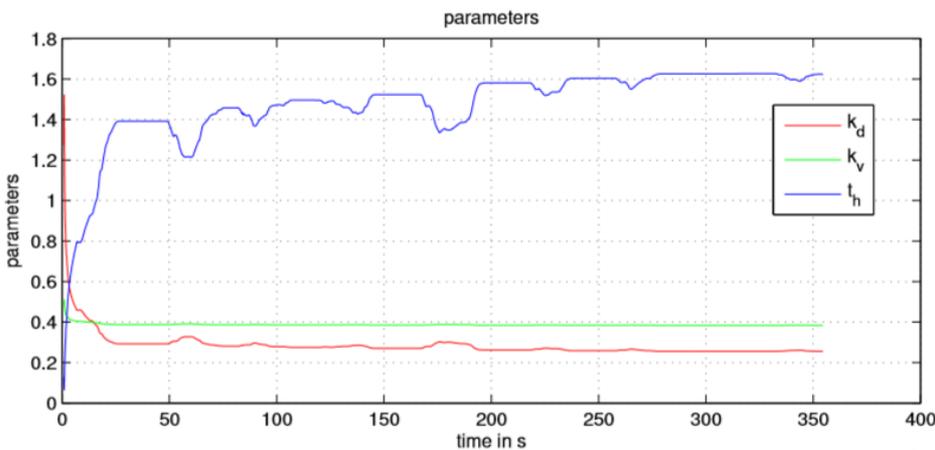
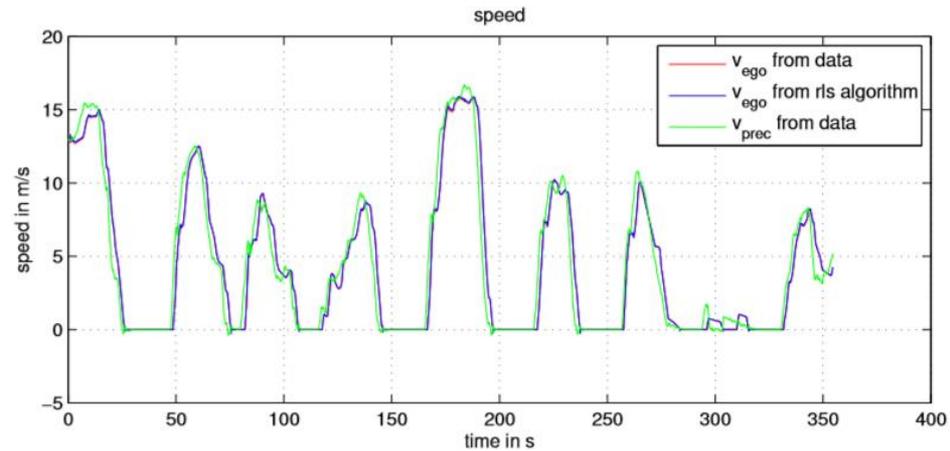
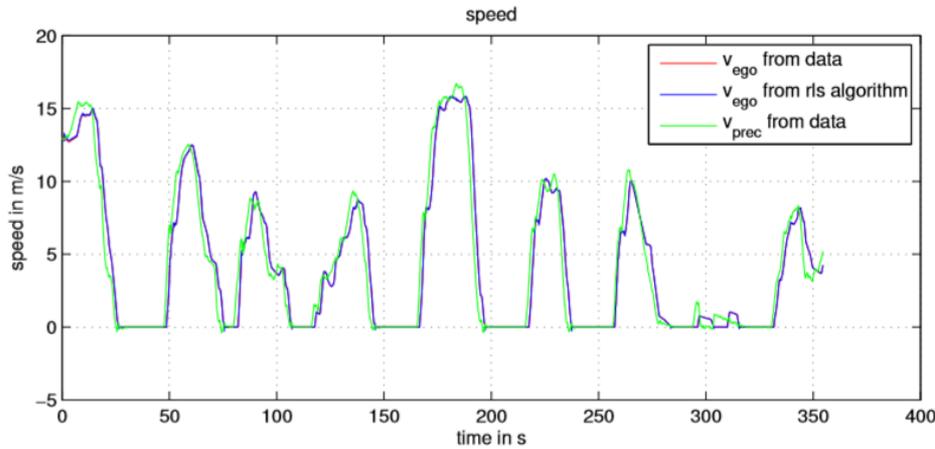
$$\hat{y}_k = \begin{bmatrix} -y_{k-10} & -y_{k-9} & -y_{k-2} & -y_{k-1} & u_{k-10} & u_{k-9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

- Realisierung des Rekursiven Least Squares Algorithmus in Matlab



# Adaptive Parameterschätzung des dynamischen Modells

- Ergebnis für eine Messfahrt



ohne Vergessensfaktor

mit Vergessensfaktor

# Adaptive Parameterschätzung des dynamischen Modells

- Verteilung der Parameter

