



Institut für Design und Regelung mechatronischer Systeme



# Verbesserte Abstimmroutine für Mittelwertsmodele

Bachelorarbeit

Sebastian Lifka

Betreuer: Ass.-Prof. Dr. Harald Waschl

# Inhalt

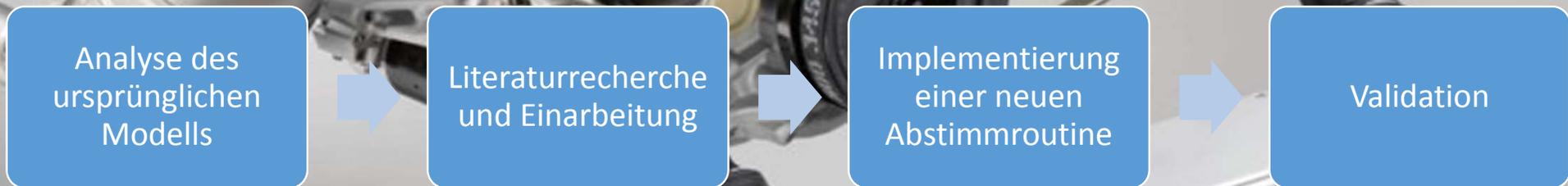
- Übersicht über die Aufgabenstellung
- Zwischenschritte und Zwischenergebnisse
- Validation

# Übersicht über die Aufgabenstellung

# Übersicht über die Aufgabenstellung

Ziel der Arbeit:

Implementierung einer verbesserten Abstimmroutine für MVEM





# Zwischenschritte und Zwischenergebnisse

# Zwischenschritte und Zwischenergebnisse

- Initialisierung der statischen Parameter in den Teilmodellen
  - Vorgehensweise
  - Präsentation der Ergebnisse ausgewählter Teilmodelle
- Dynamische Abstimmung
- Statische Abstimmung des Gesamtmodells

# Initialisierung der statischen Parameter in den Teilmodellen – Vorgehensweise

- Gesamtmodell besteht aus mehreren Teilmodellen
- Teilmodelle werden separat abgestimmt

Gesamtmodell

Turbolader

Motor/  
Zylinder

Einlass-  
sammel-  
kasten

Auslass-  
sammel-  
kasten

Abgasrück-  
führung

Ladeluft-  
kühler,  
Drossel

Turbolader

Motor/  
Zylinder

Abgasrück-  
führung

Messwerte für den Eingang

Tuningparameter

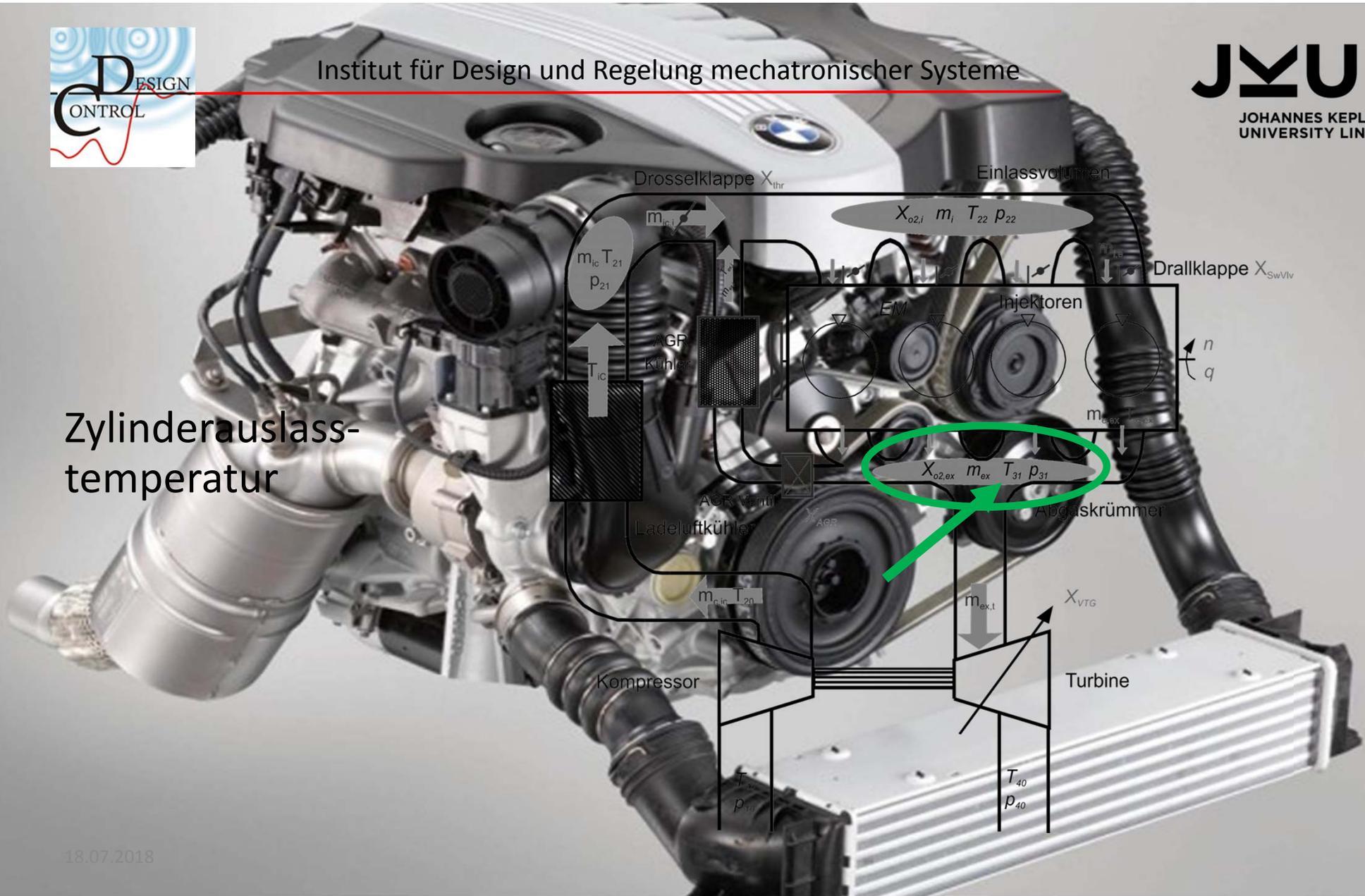
Messwerte für den Ausgang

Funktion zur Optimierung der  
Teilmodelle

Optimierte Tuningparameter

Plots

FIT-Wert



# Zylinderauslasstemperatur-Modellierung

- Modelliert über Kennfeld, Struktur war vorgegeben

$$T_{\text{mot\_ex\_stat}}(W_{iw}, W_f, X_{\text{swirl, vlv}}, T_{22}) = T_{\text{mot\_ex\_stat}}(W_{iw}, W_f) \cdot T_{\text{mot\_ex\_stat}}(X_{\text{swirl, vlv}}) \cdot T_{\text{mot\_ex\_stat}}(T_{22})$$

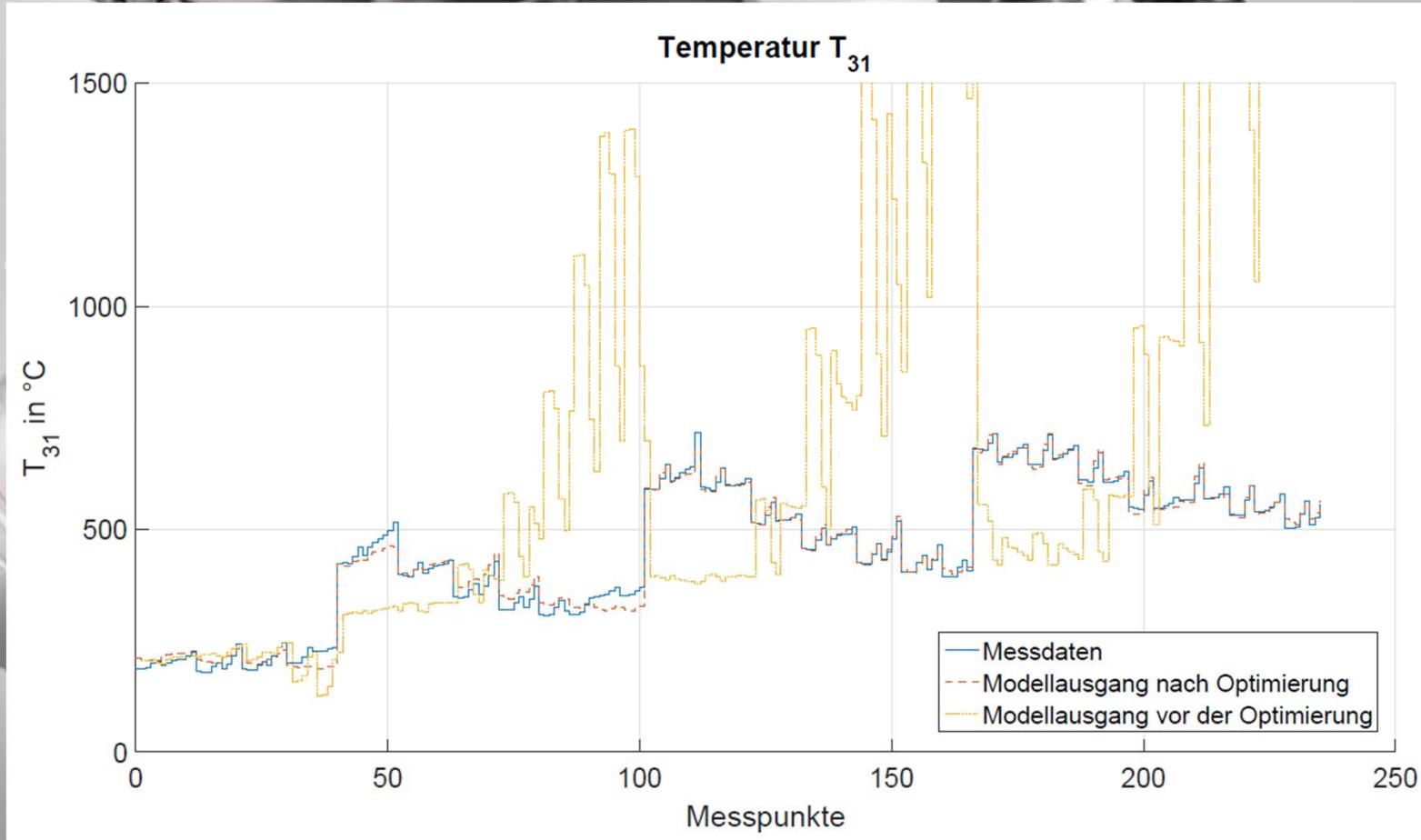
$$T_{\text{mot\_ex\_stat}}(X_{\text{swirl, vlv}}) = \text{eng.p1} \cdot T_{\text{mot\_ex\_Xswvlv}} * u(1) + \text{eng.p2} \cdot T_{\text{mot\_ex\_Xswvlv}}$$

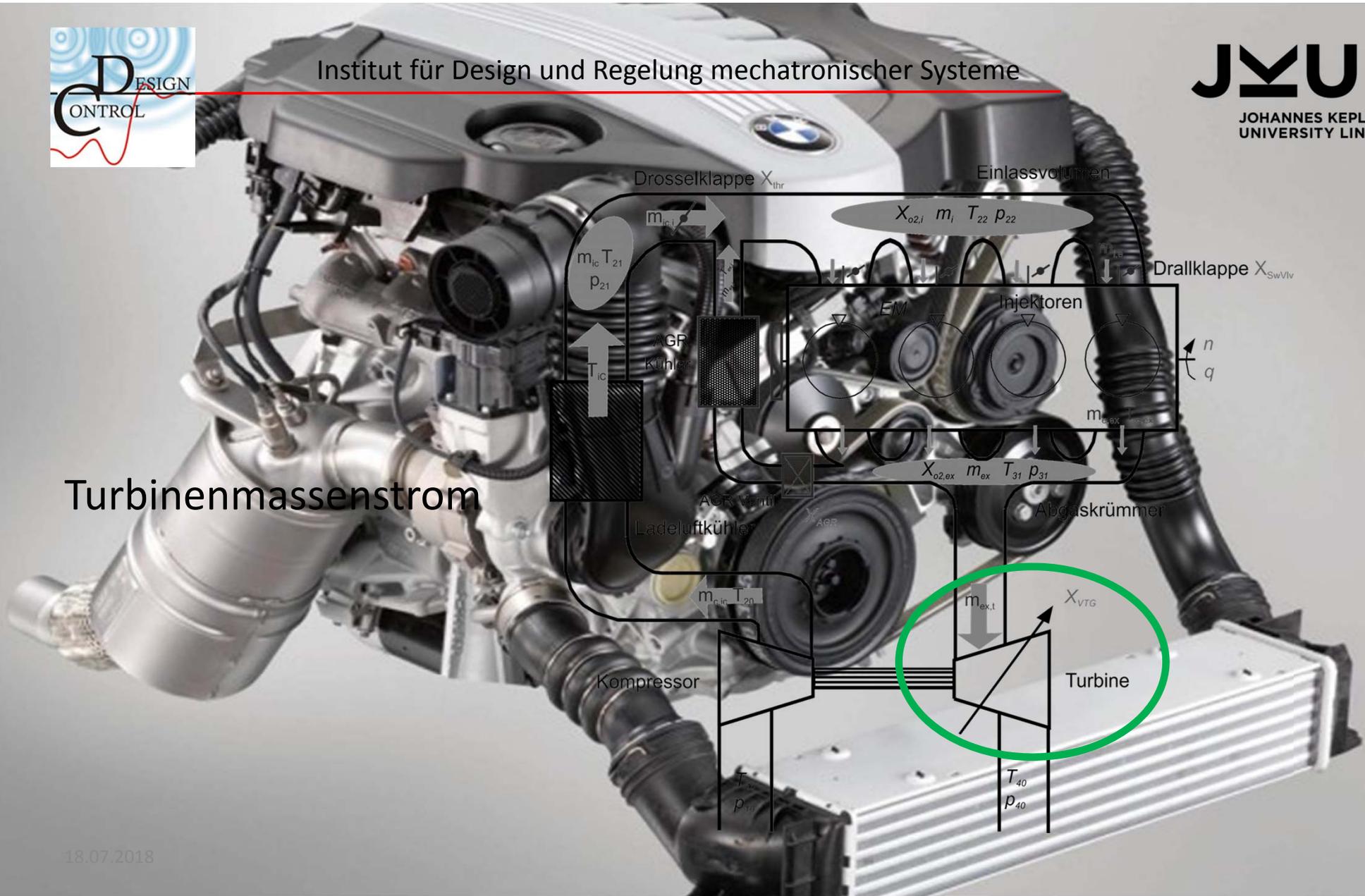
# Zylinderauslasstemperatur

- Tuningparameter:
  - Koeffizienten der Kennfelder

- Kostenfunktion:

$$(T_{31} - T_{31,meas})^2$$





Turbinenmassenstrom

# Turbinenmassenstrom-Modellierung

- Massenstrom

$$\frac{W_t \sqrt{T_{em}} R_e}{P_{em}} = A_{vgtmax} f_{tt}(U_t) f_{vgt}(\tilde{u}_{vgt})$$

- Choking function

$$f_{tt}(U_t) = \sqrt{1 - \Pi_t^{K_t}}$$

# Turbinenmassenstrom-Modellierung

- Effective area ratio function

$$\left[ \frac{f_{vgt}(\tilde{u}_{vgt}) - C_{f2}}{C_{f1}} \right]^2 + \left[ \frac{\tilde{u}_{vgt} - C_{vgt2}}{C_{vgt1}} \right]^2 = 1$$

- Turbinenmassenstrom

$$W_t = \frac{A_{vgtmax} p_{em} f_{\Pi t}(\Pi_t) f_{vgt}(\tilde{u}_{vgt})}{\sqrt{T_{em} R_e}}$$

# Turbinenmassenstrom

- Tuningparameter:
  - Exponent  $K_t$  in der Choking funktion

$$f_{TK}(\Pi_t) = \sqrt{1 - \Pi_t^{K_t}}$$

- $c_{f1}, c_{f2}, c_{vgt1}, c_{vgt2}$  in der effective area function

$$\left[ \frac{f_{vgt}(\tilde{u}_{vgt}) - c_{f2}}{c_{f1}} \right]^2 + \left[ \frac{\tilde{u}_{vgt} - c_{vgt2}}{c_{vgt1}} \right]^2 = 1$$

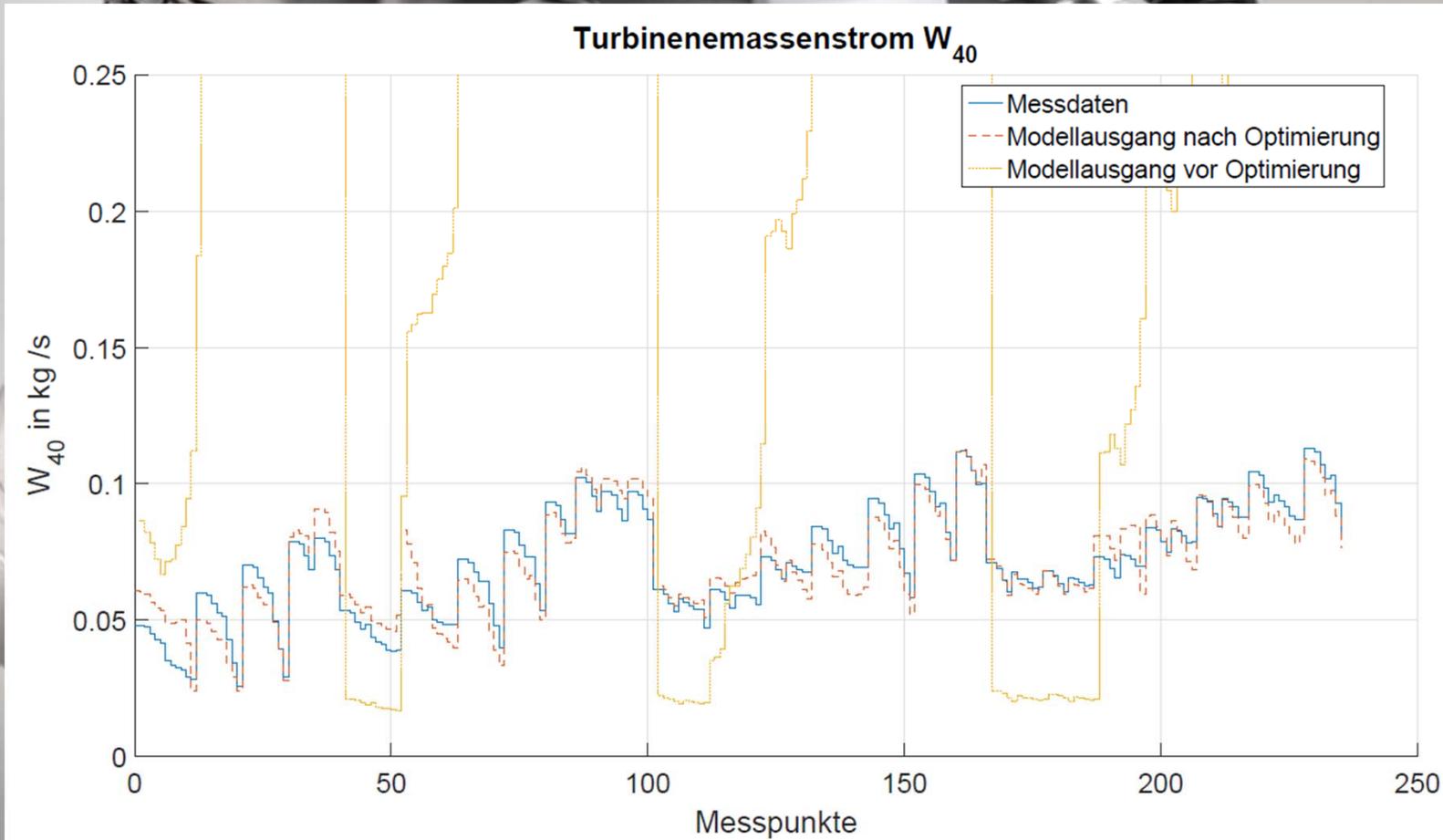
# Turbinenmassenstrom

- Kostenfunktion

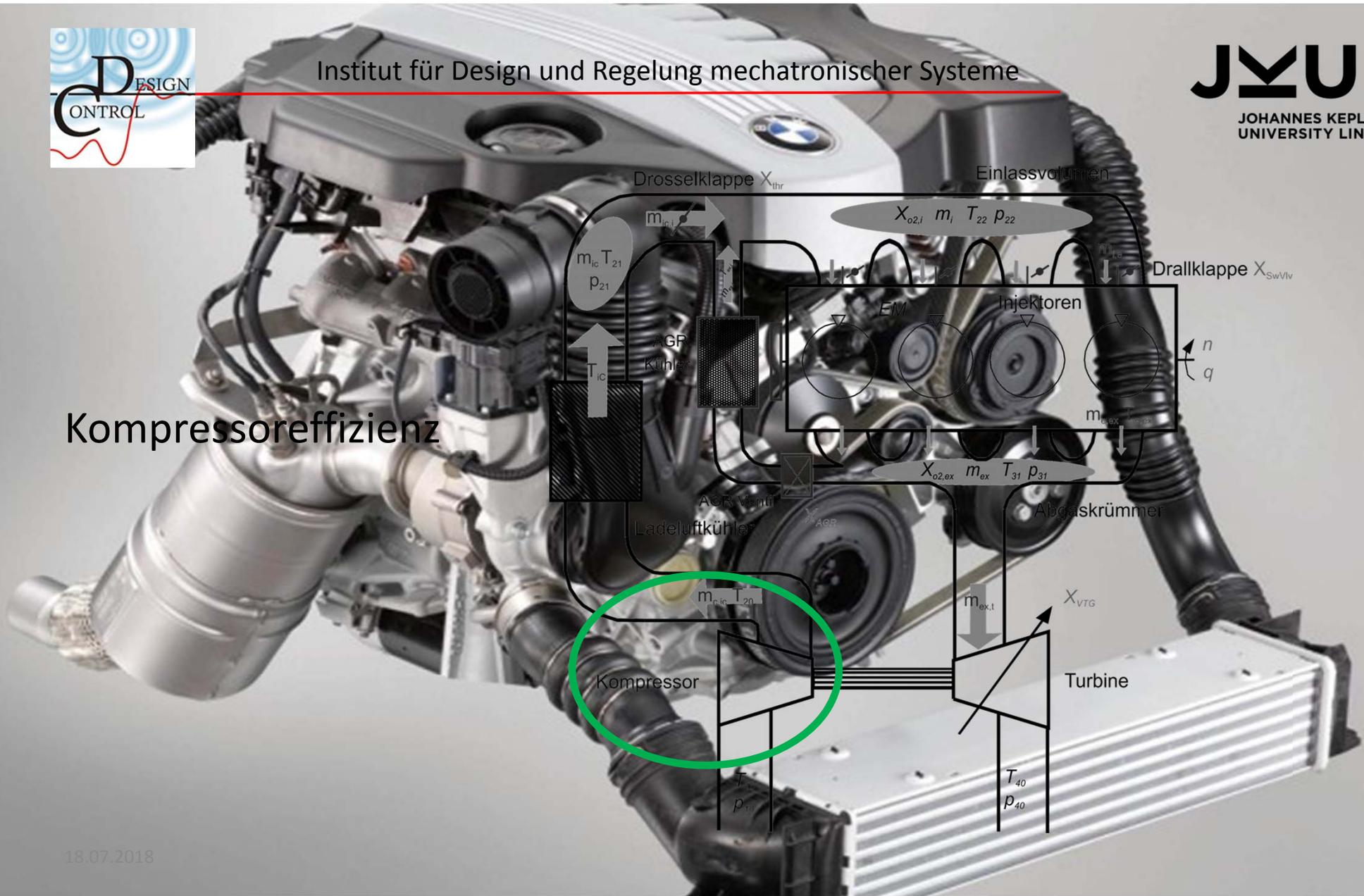
mit

$$(W_t - W_{t,\text{meas}})^2$$

$$W_{t,\text{meas}} = W_c + W_f$$



Kompressoreffizienz



# Kompressoreffizienz-Modellierung

- $\eta_c$  wird mittels Ellipse modelliert
- Vektor der Teilmodelleingänge
- Nichtlineare Transformation von Druckverhältnis  $\Pi_c$
- Positiv semidefinite Matrix mit Tuningparametern

$$\eta_c = \eta_{cmax} - \chi^T Q_c \chi$$

$$\chi = \begin{bmatrix} W_c - W_{copt} \\ \pi_c - \pi_{copt} \end{bmatrix}$$

$$\pi_c = (\Pi_c - 1)^{\epsilon_\pi}$$

$$Q_c = \begin{bmatrix} a_1 & a_3 \\ a_3 & a_2 \end{bmatrix}$$

# Kompressoreffizienz

- Tuning Parameter:

- $\eta_{cmax}$

- $W_{copt}$

- $\pi_{copt}$

- $c_{\pi}$

- $a_1, a_2, a_3$

$$\lambda Q_c \left[ \frac{W_c}{\pi} \left[ \frac{a_1}{c} - \frac{W_{c3y}}{\pi} \right] \right] \cdot \lambda$$

# Kompressoreffizienz

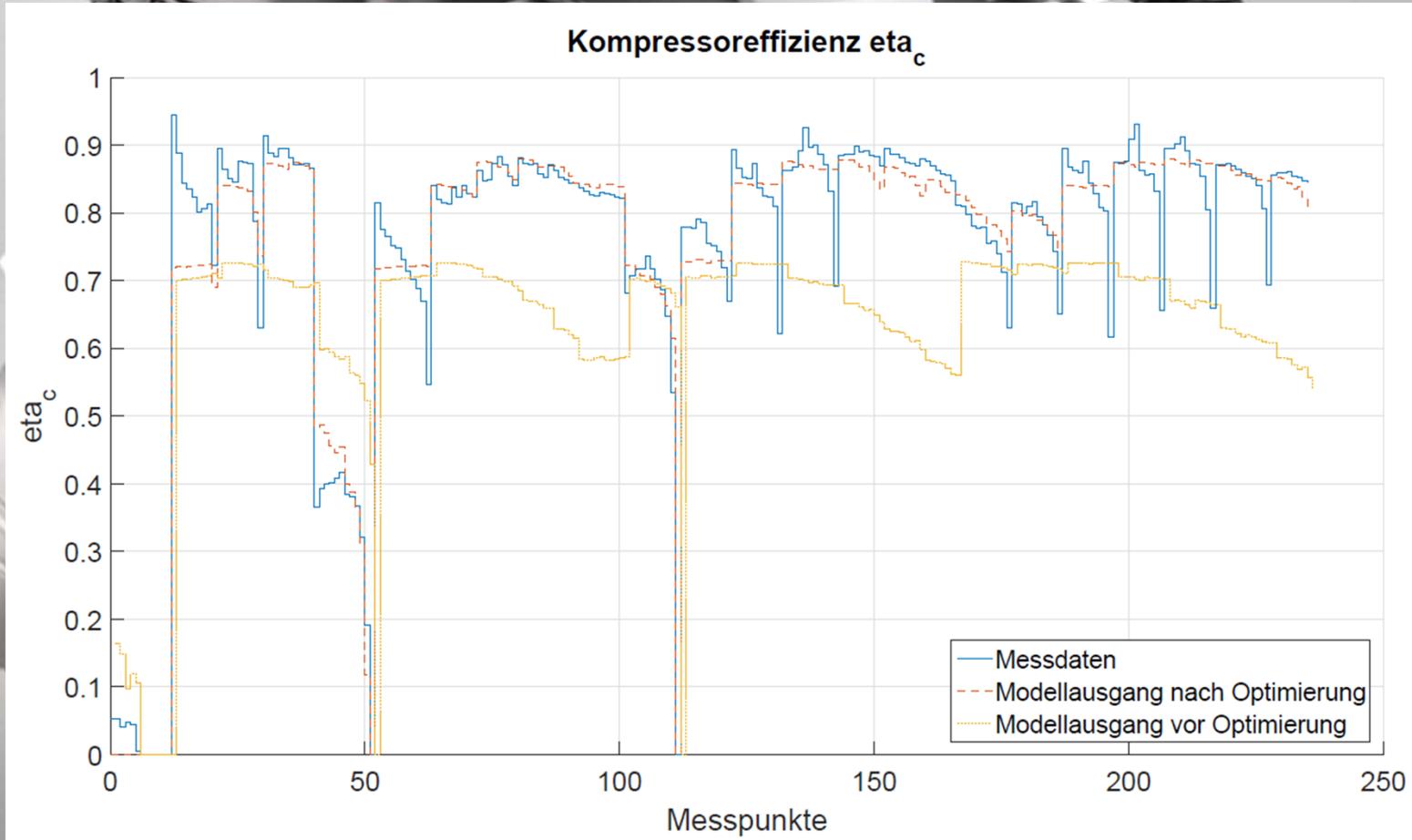
- Kostenfunktion

$$(\eta_c - \eta_{cmeas})^2$$

- Separable non-linear Least-Squares Problem

- Tuningparameter nichtlinearer Teil:  $W_{copt}$ ,  $\pi_{copt}$  und  $c_\pi$
- Tuningparameter linearer Teil:  $n_{cmax}$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$

$$\eta_c = \eta_{cmax} - \chi^T Q_c \chi \quad \chi = \begin{bmatrix} W_c - W_{copt} \\ \pi_c - \pi_{copt} \end{bmatrix} \quad \pi_c = (\Pi_c - 1)^{c_\pi} \quad Q_c = \begin{bmatrix} a_1 & a_3 \\ a_3 & a_2 \end{bmatrix}$$



# Dynamische Abstimmung

- Tuningparameter:
  - Volumina des Einlass- und Auslasssammlkastens
  - Turboladerträgheitsmoment
- Verwendung des Gesamtmodells

# Dynamische Abstimmung-Modellierung

- Volumina

$$\frac{d}{dt} p_{im} = \frac{R_a T_{im}}{V_{im}} (W_c + W_{egr} - W_{ei})$$

$$\frac{d}{dt} p_{em} = \frac{R_e T_{em}}{V_{em}} (W_{co} - W_t - W_{egr})$$

- Trägheitsmoment

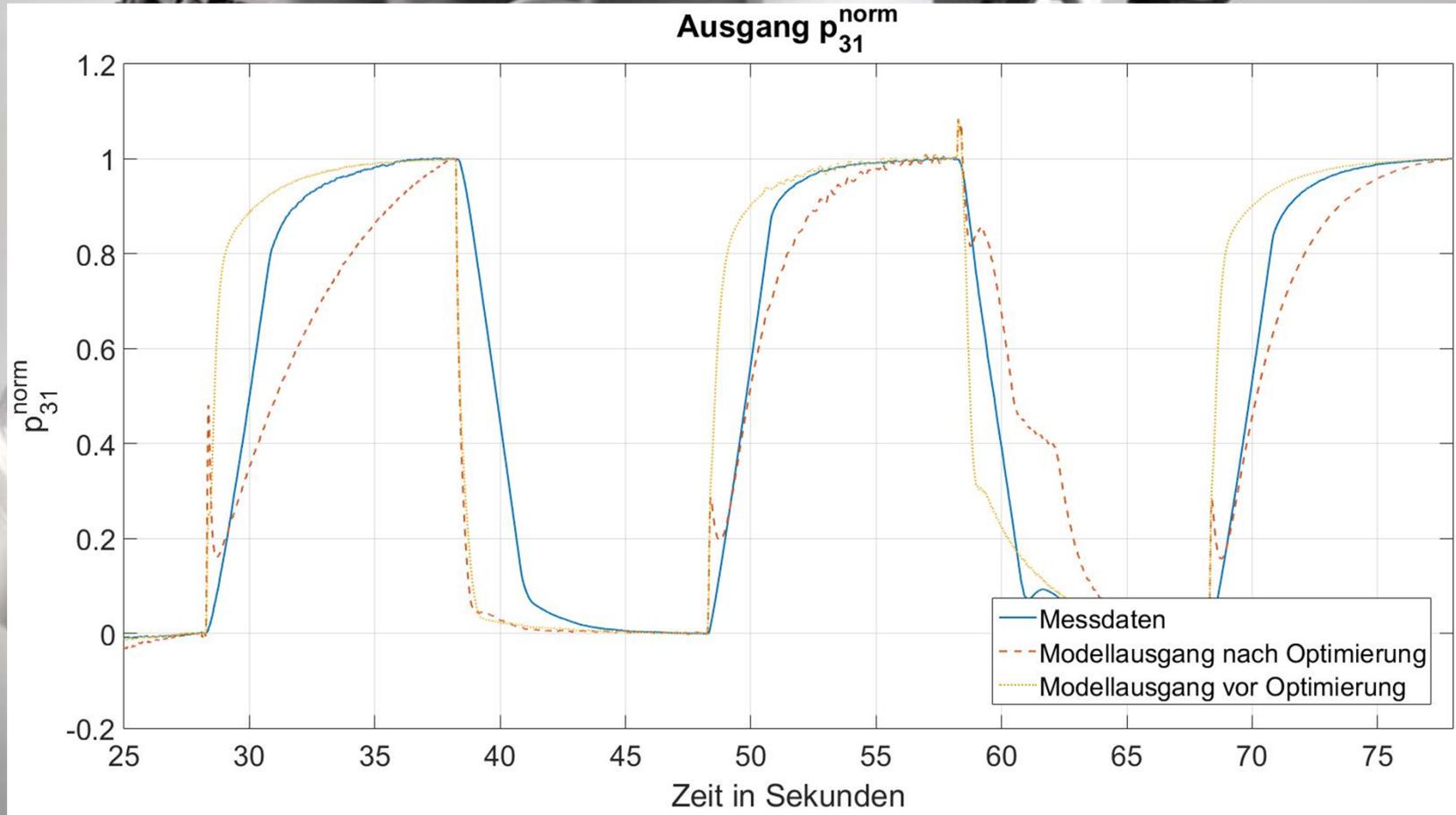
$$\frac{d}{dt} \omega_t = \frac{P_t \eta_m - P_c}{J_t \omega_t}$$

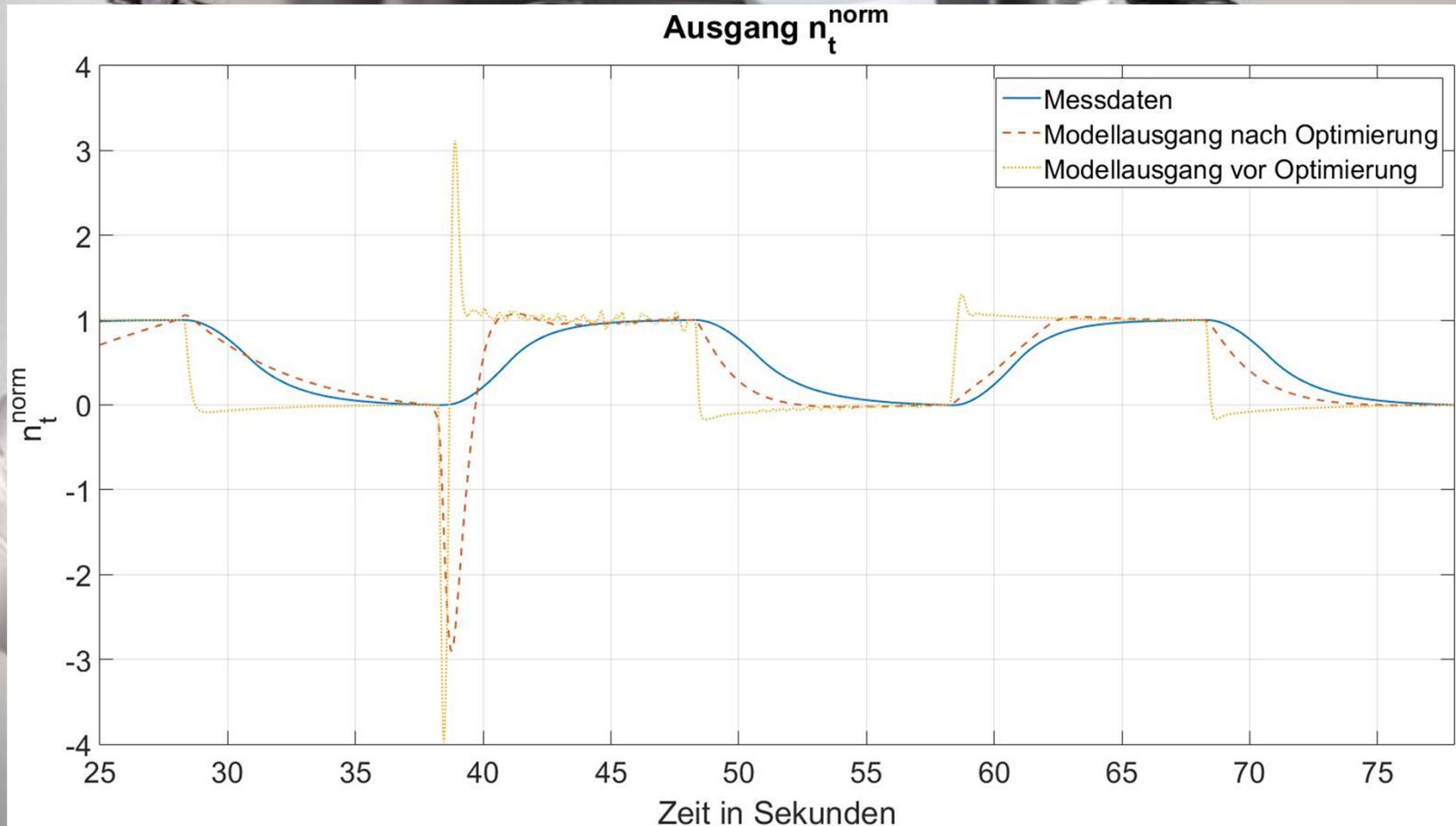
# Dynamische Abstimmung

- Kostenfunktion

$$V(\theta) = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \frac{1}{L_j} \sum_{l=1}^{L_j} \left( w_k^{\text{meas,dyn}} [l] - w_k^{\text{mod,dyn}} [l] \right)^2$$

$$w_1 = p_{\text{im}}^{\text{norm}}, \quad w_2 = p_{\text{em}}^{\text{norm}}, \quad w_3 = W_c^{\text{norm}}, \quad w_4 = n_t^{\text{norm}}$$





# Statische Abstimmung des Gesamtmodells

- Kostenfunktion

$$y_1 = p_{im}, \quad y_2 = p_{em}, \quad y_3 = W_c, \quad y_4 = n_t$$

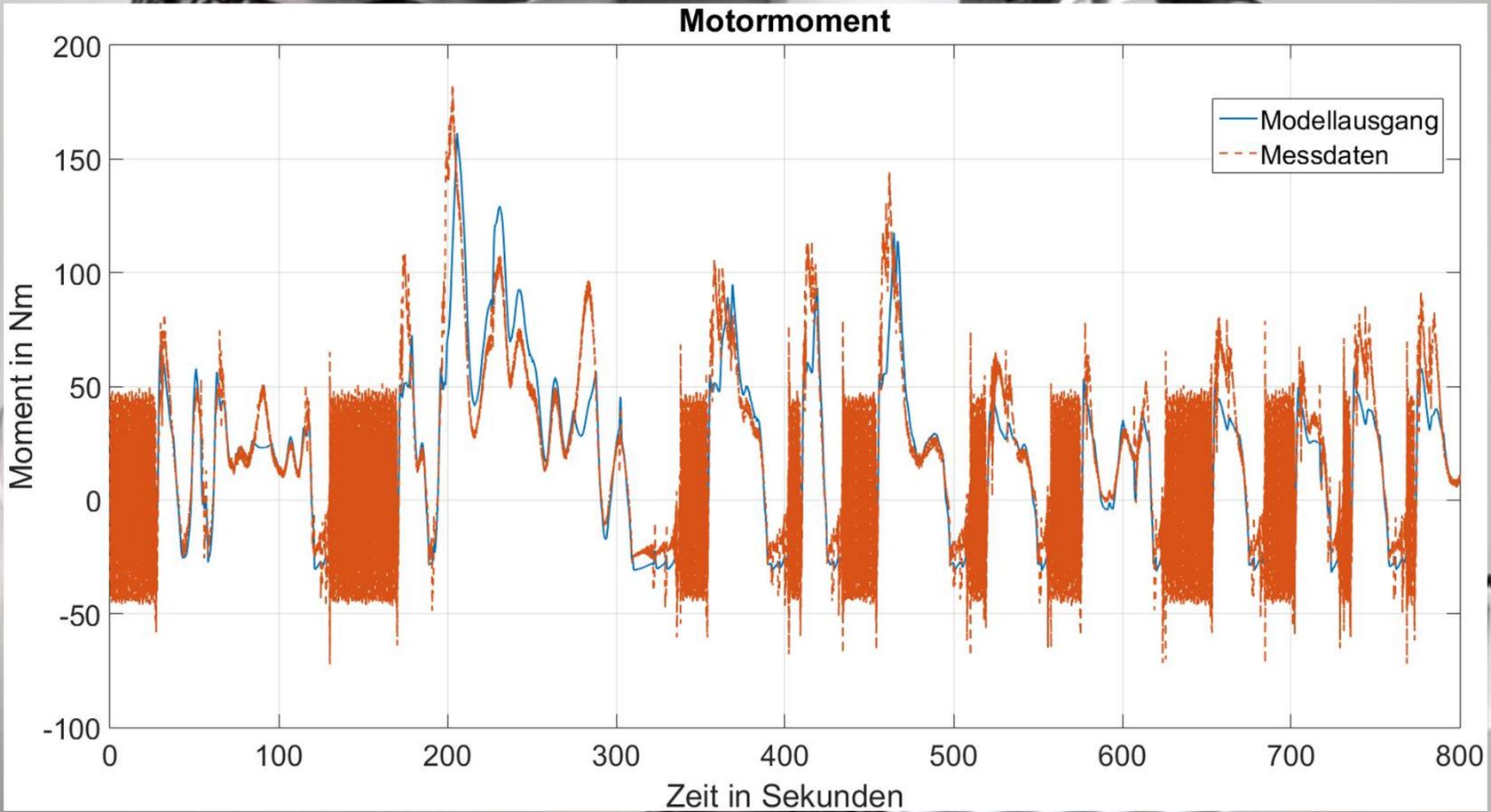
$$z_1 = W_{ei}, \quad z_2 = T_{em}, \quad z_3 = W_{egr}, \quad z_4 = \eta_{um}$$

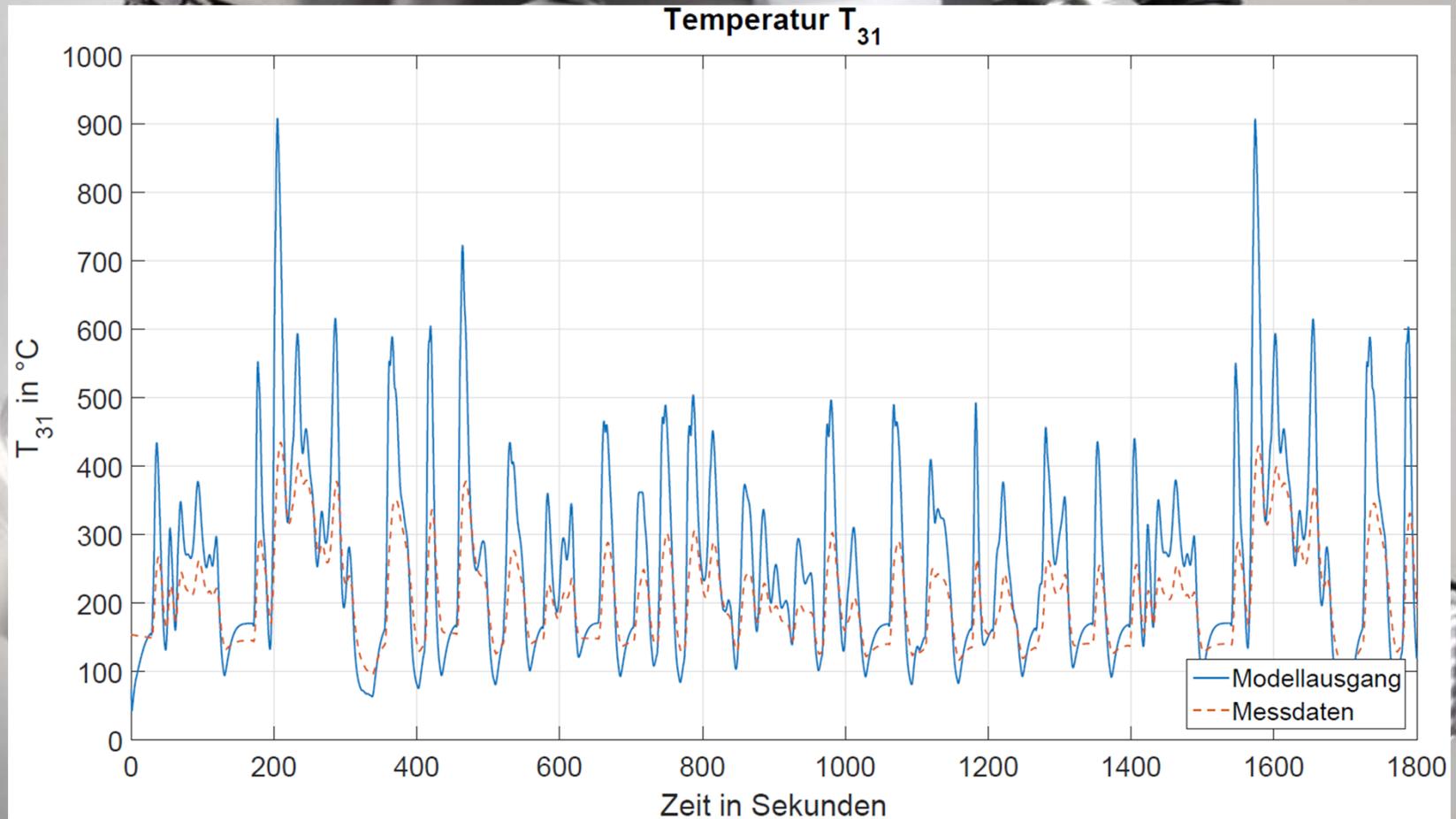
$$z_5 = W_t, \quad z_6 = \eta_c, \quad z_7 = W_c$$

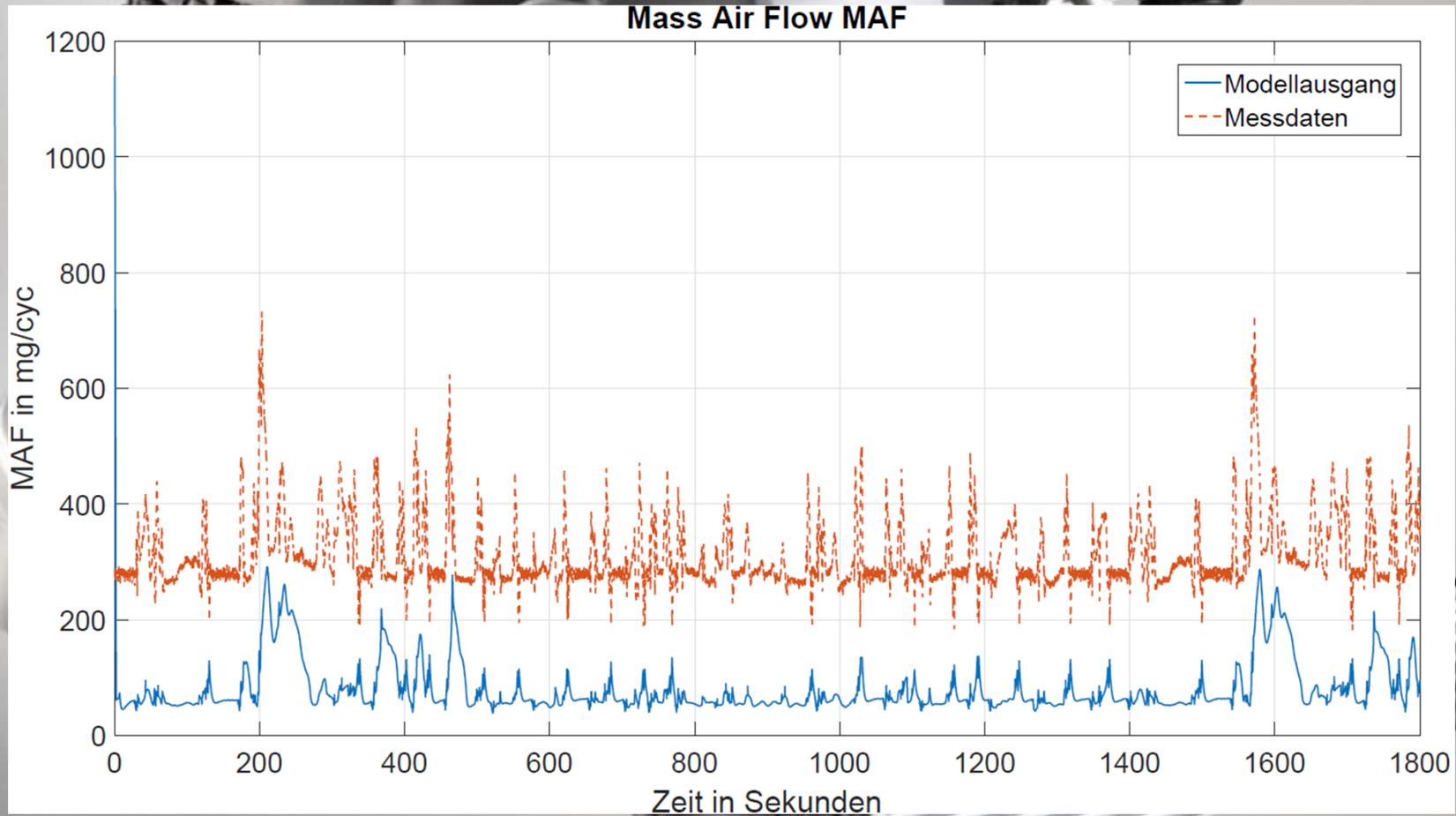
$$V(\theta) = \frac{1}{KJ} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \frac{\gamma_j^2}{L_j} \sum_{l=1}^{I_j} \left( \frac{y_k^{meas,dyn}[l] - y_k^{mod,dyn}[l]}{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_k^{meas,stat}[m]} \right)^2 + \frac{1}{\beta NM} \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^M \left( \frac{z_n^{meas,stat}[p] - z_n^{mod,stat}[p]}{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M z_n^{meas,stat}[m]} \right)^2$$



# Validation









Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!