

Evaluierung von Sensorfusionsmethoden zur Kombination von virtuellen und realen Sensoren

Student: Daniel Niedermayr

Betreuer: Ass.-Prof. Dr. Harald Waschl

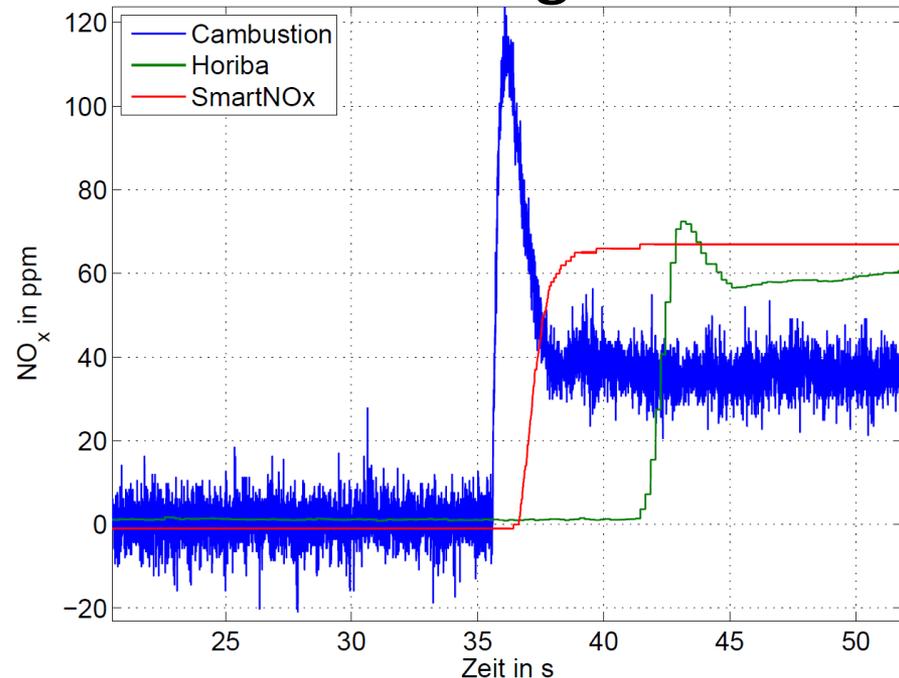
Dipl.-Ing. Martin Großbichler

Sensorfusionsmethoden

- Sensorfusion: Kombination von Sensoren mit unterschiedlichen Eigenschaften
- Ziel der Bachelorarbeit:
 - Unterschiedliche Methoden untersuchen und bewerten
 - Anwendung auf Messung von Stickoxiden

Verwendete Sensoren

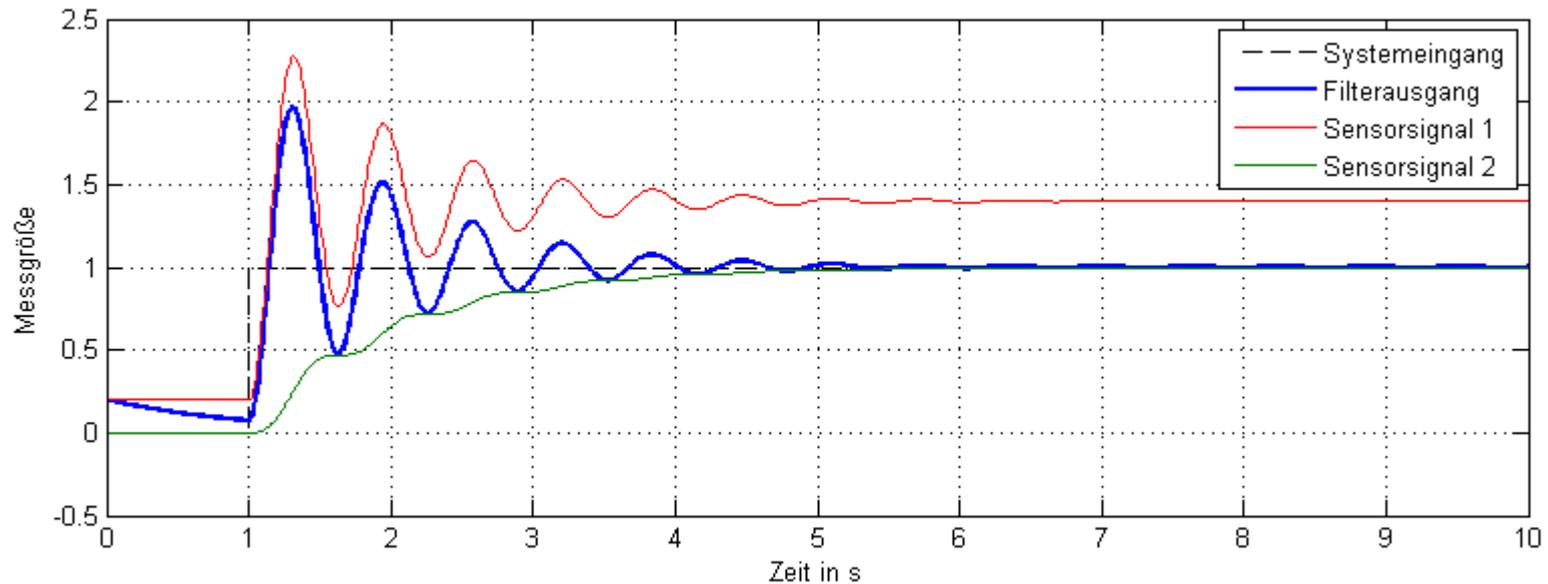
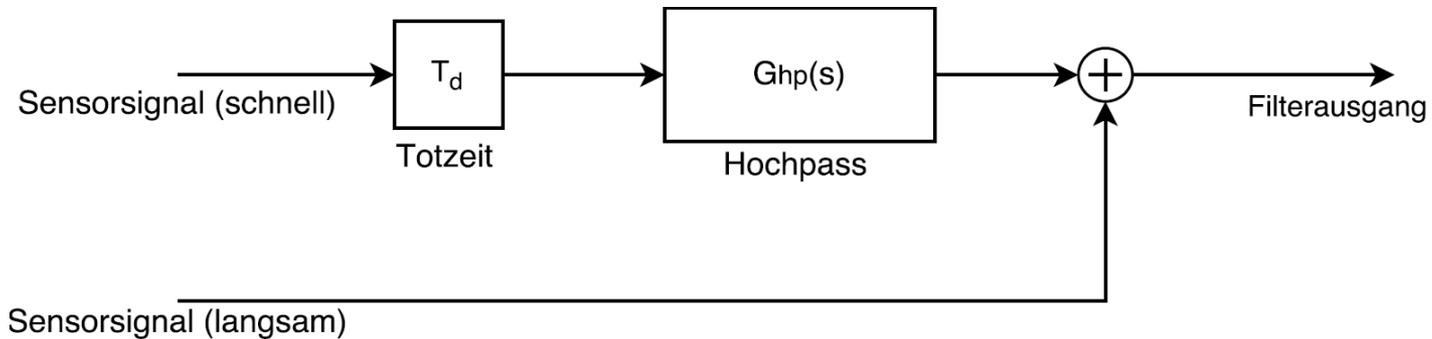
- Messung von Stickoxiden (NO_x):
 - Einerseits schnelle Sensoren
Cambustion fNO_x 400
 - Messgeräte mit hoher stationärer Genauigkeit
Horiba MEXA 7100
SmartNO_x
 - Berücksichtigung der Totzeit



Sensorfusionsmethoden

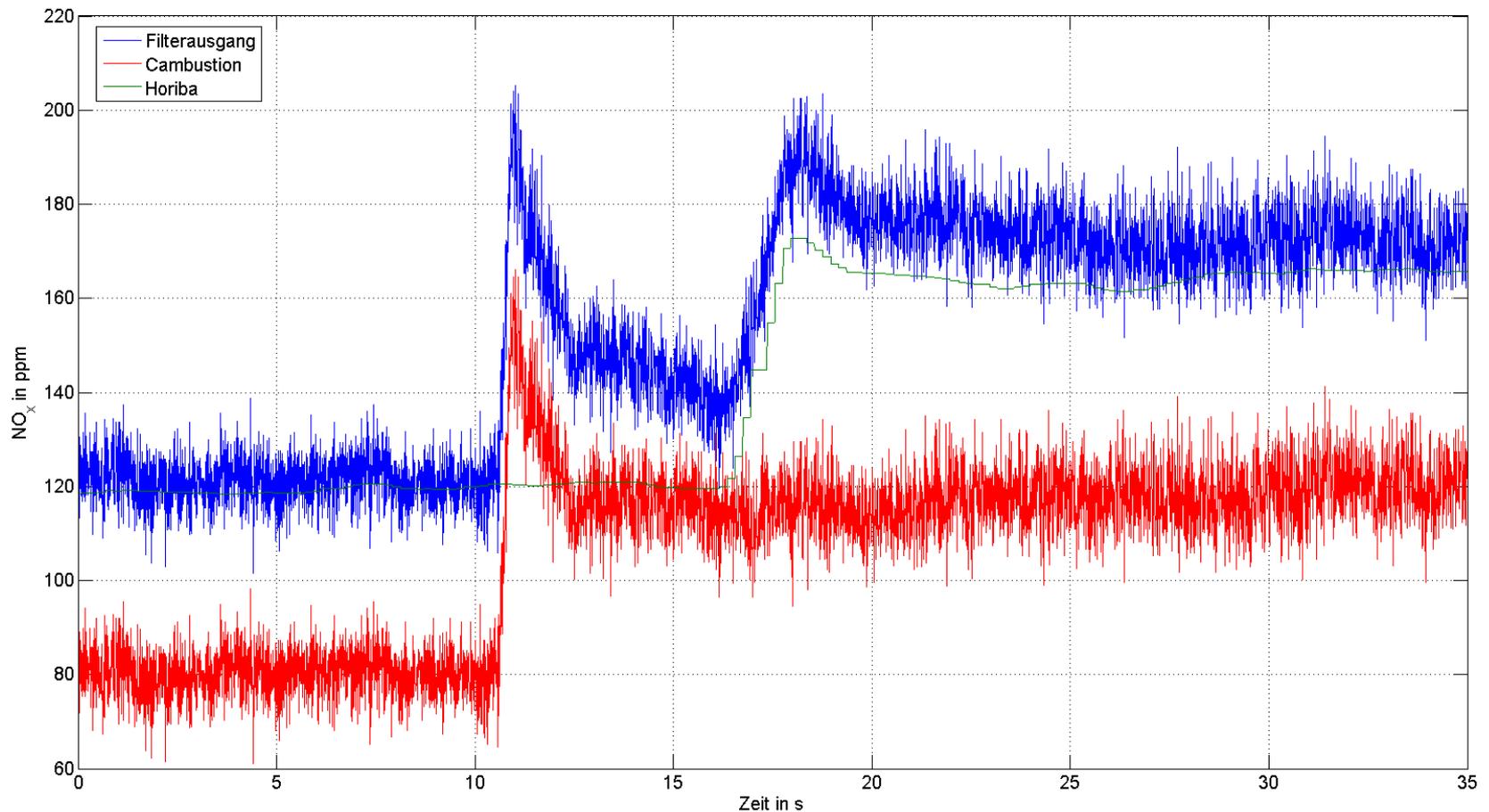
- Angewandte Methoden:
 - Komplementärer Filter
 - Kalman-Filter mit Offsetkorrektur
 - Offsetkorrektur mit Lookup-Table

Komplementärer Filter mit Testsignal:



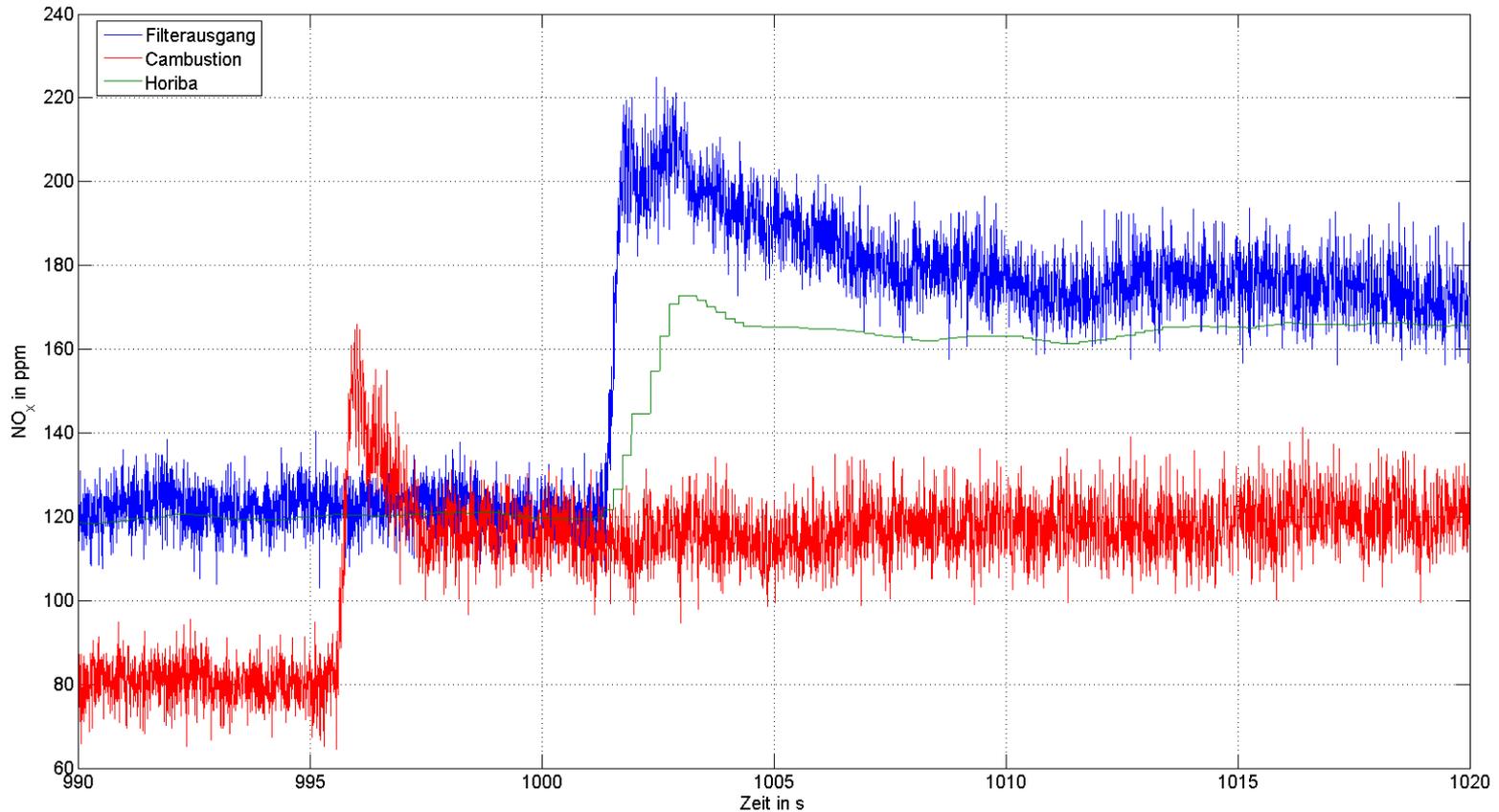
Komplementärer Filter mit Messdaten:

Cambustion-Daten nicht verzögert



Komplementärer Filter mit Messdaten:

Cambustion-Daten um Totzeit verzögert:

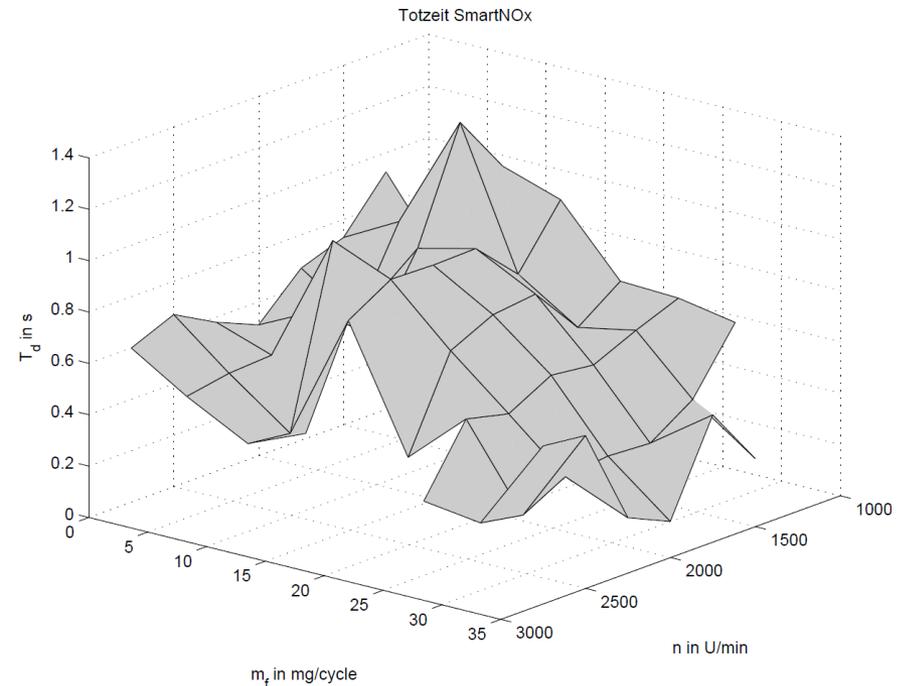
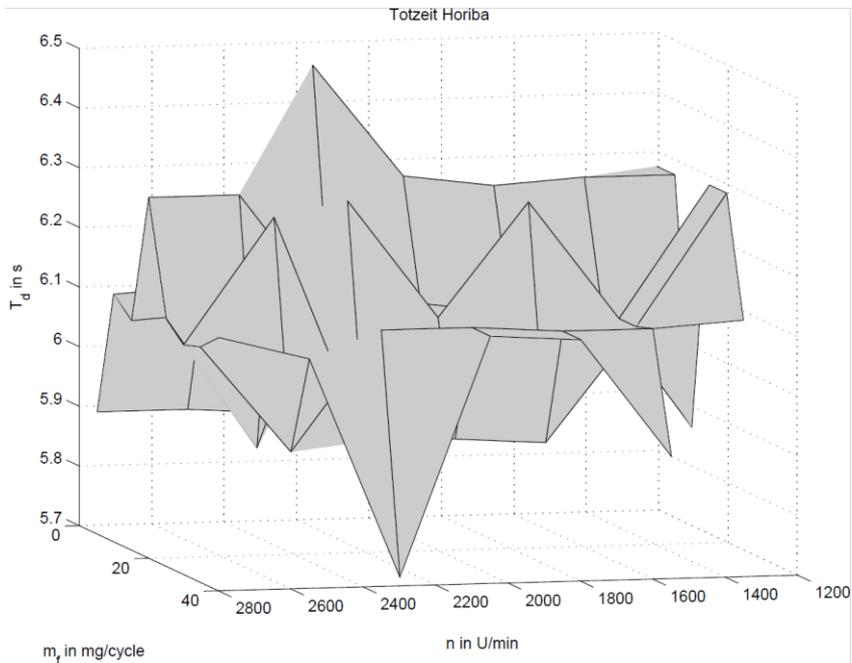
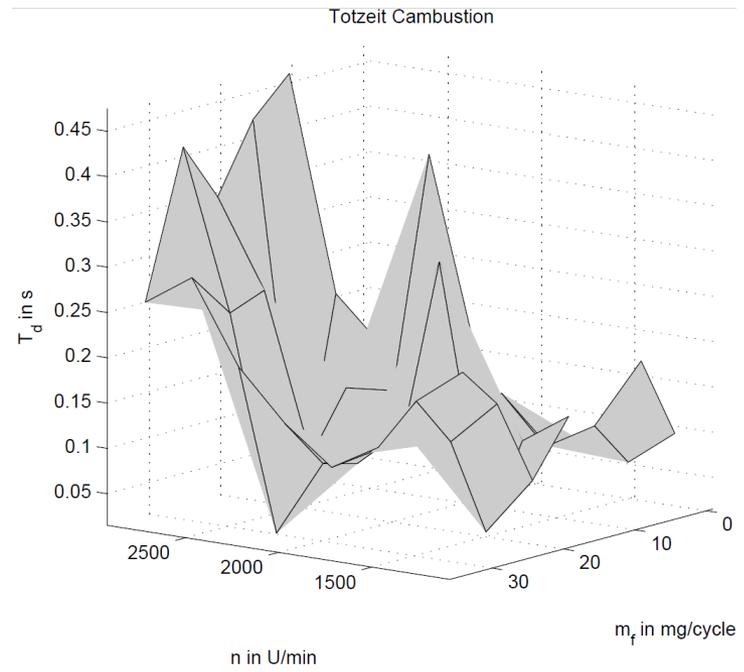


→ Ergebnis um Totzeit verschoben

Ermitteln der Totzeit

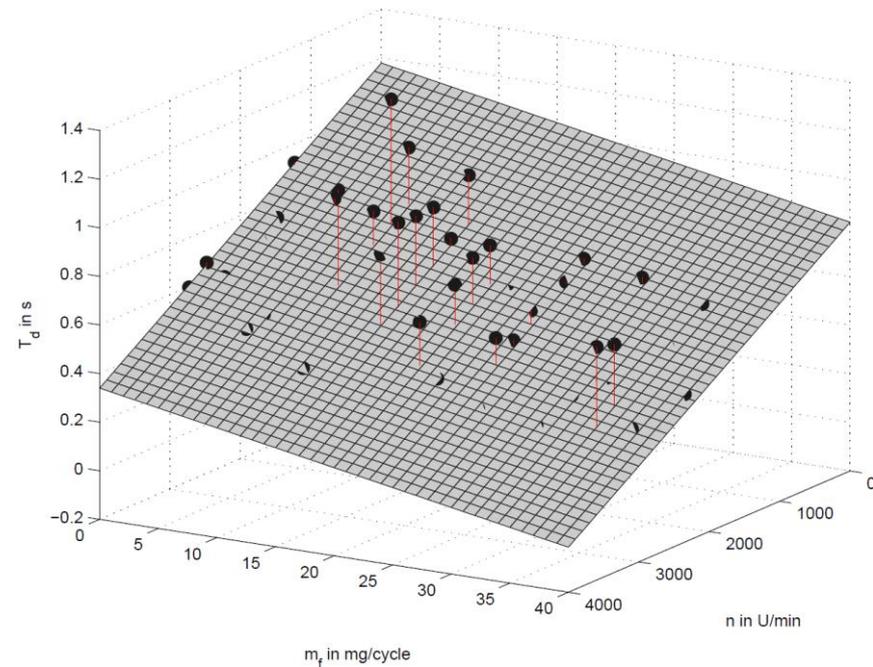
- Mögliche Abhängigkeit der Totzeit von anderen Größen (Drehzahl n , Einspritzmenge m_f)
- Passendes Totzeitmodell ermitteln
- z.B. lineare Abhängigkeit:
 - $T_d = T_0 + T_1 \cdot n + T_2 \cdot m_f$
- Bestimmung aus Daten einer Rastermessung

Totzeit der Sensoren



Abhängigkeit der Totzeit:

- Für Kombination Cambustion/Horiba:
 - Konstante Totzeit
- Für Kombination Cambustion/SmartNOx:
 - Lineares Totzeitmodell $T_d = T_0 + T_1 \cdot n + T_2 \cdot m_f$
 - Bestimmen der Parameter mit Methode der kleinsten Fehlerquadrate:



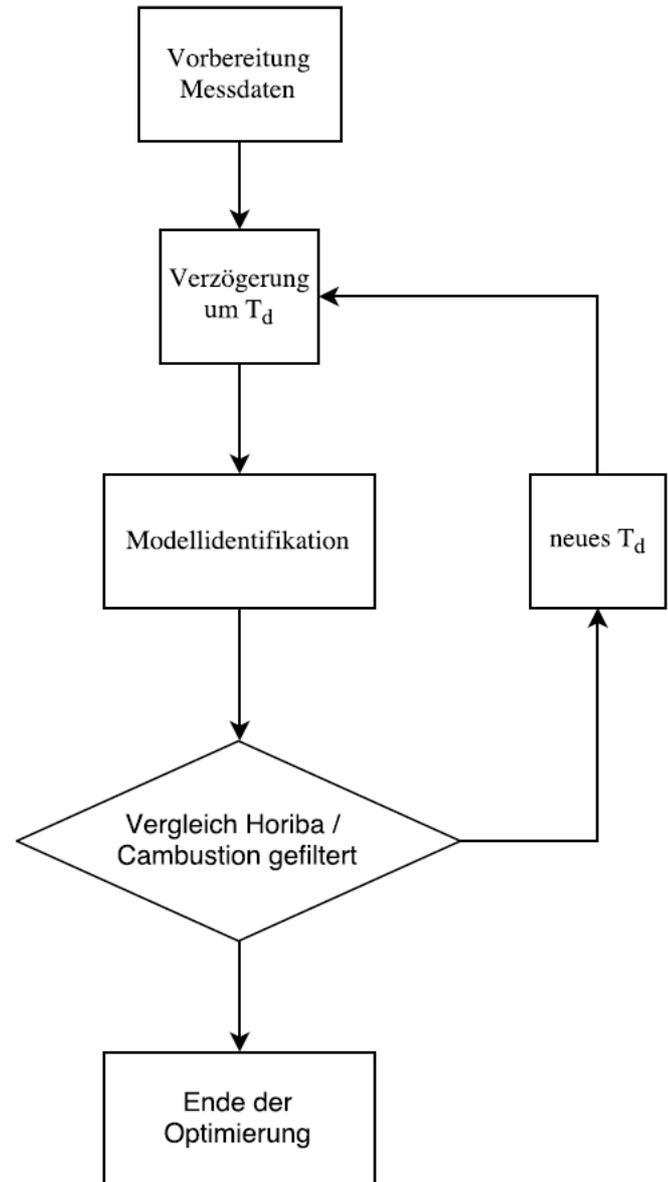
$$T_d = 1.176 - 0.0002 \cdot n - 0.0088 \cdot m_f$$

Modellidentifikation:

Bestimmung der Parameter mittels

Optimierung:

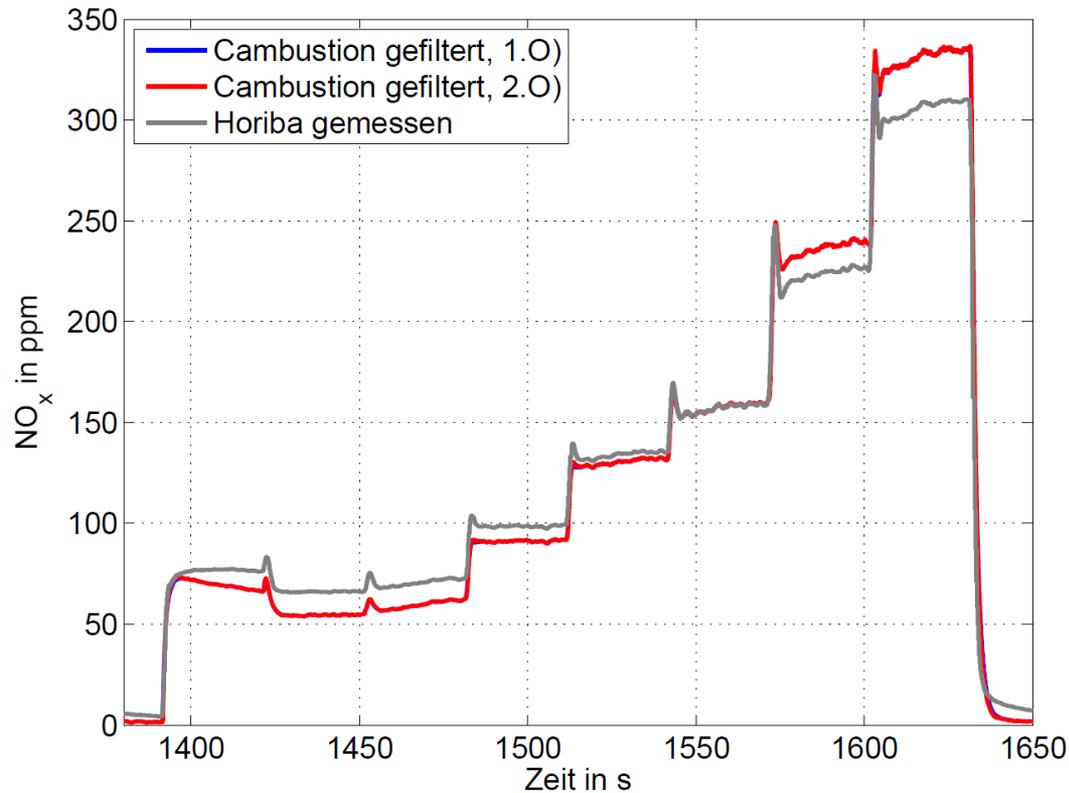
- fmincon (interior-point Algorithmus)
- Totzeit als Optimierungsparameter
- Modell in jedem Schritt neu identifizieren
- Eingang Cambustion, Ausgang Horiba



Modellidentifikation:

Ermittlung der Modellparameter mittels Optimierung

Vergleich 1./2. Ordnung:



1. Ordnung: FIT = 84.98 %

2. Ordnung: FIT = 85.27 %

→ Td = 5.87 s

Kalman-Filter mit Offsetkorrektur:

Schnellen Sensor durch Modell 1. Ordnung auf langsamen Sensor abgleichen:

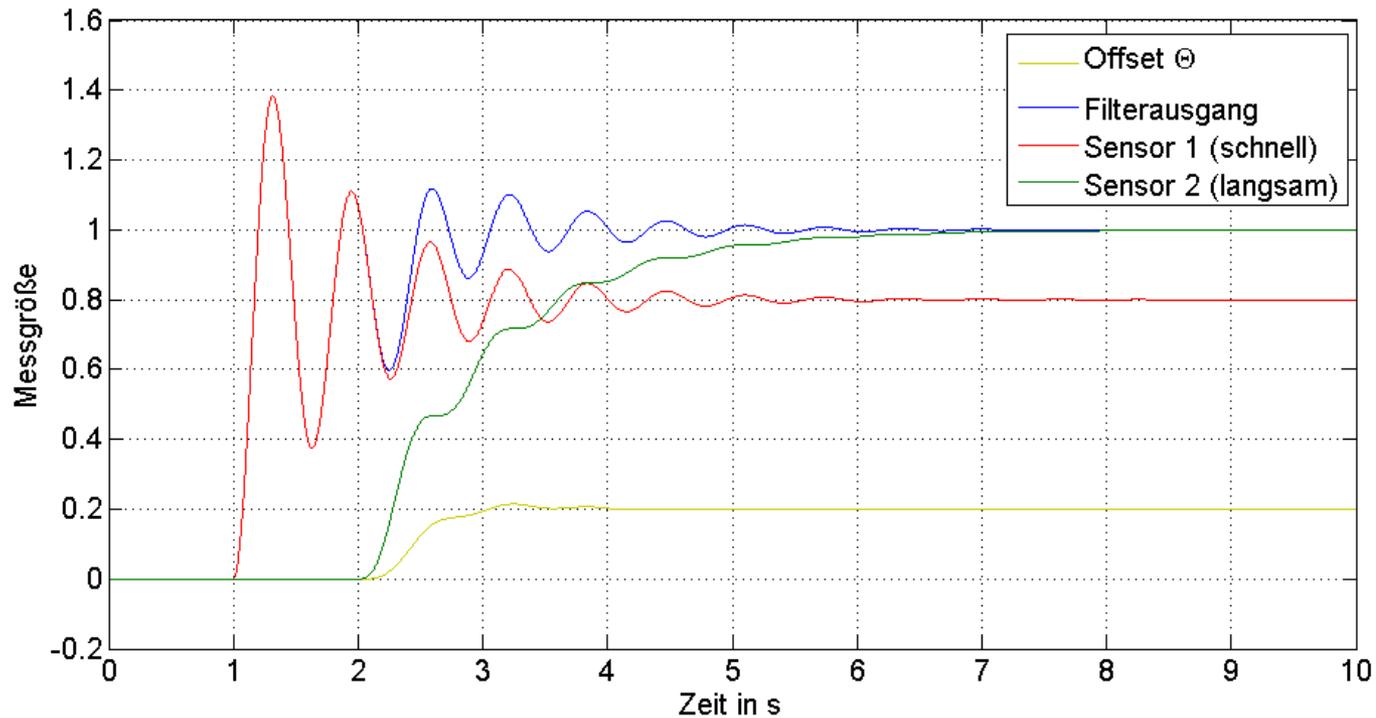
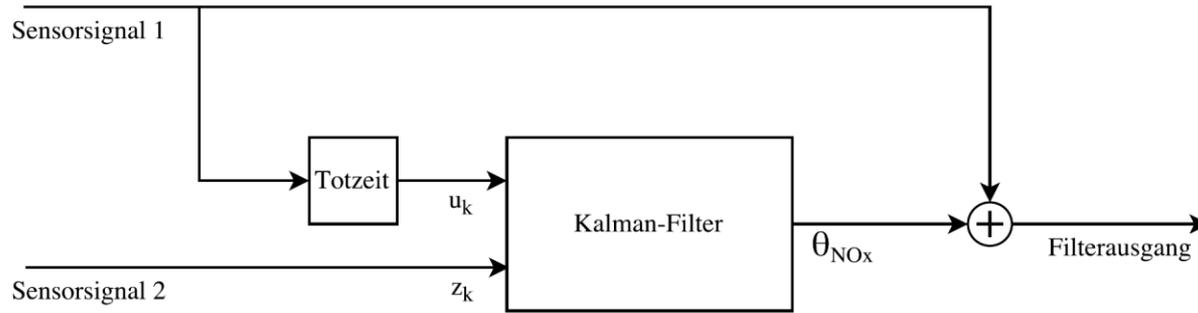
$$y_{NO_x} = z^{-\tau_{NO_x}} \frac{1 - a_{NO_x}}{1 - a_{NO_x} z^{-1}} x_{NO_x}$$

Offset zwischen den beiden Daten:

Ermittlung durch Erweitern des Modells um einen Zustand:

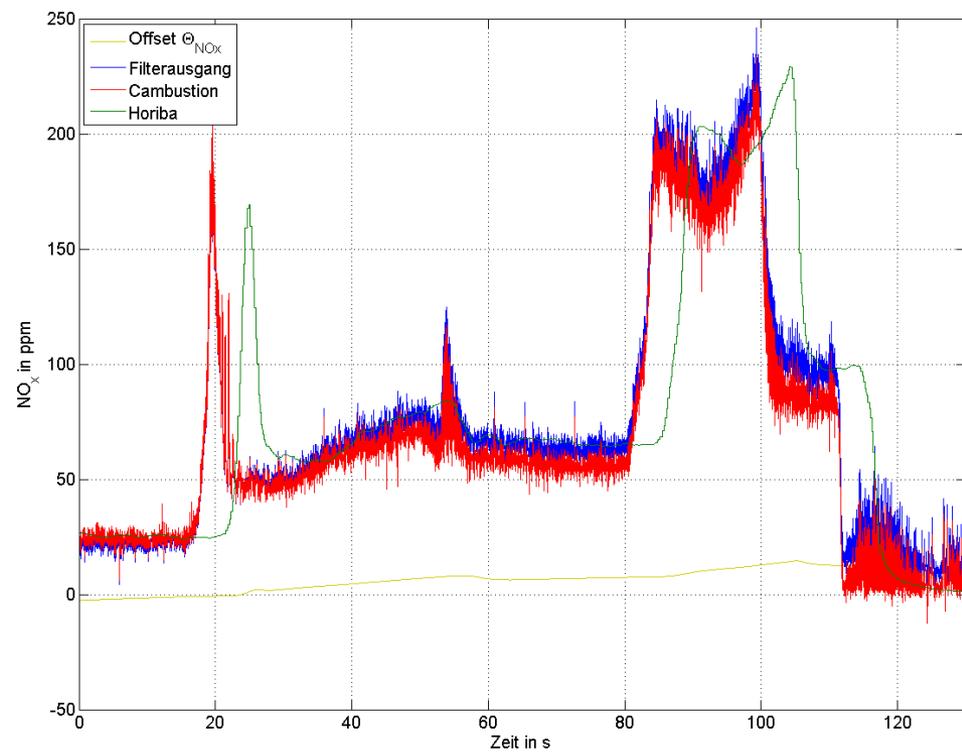
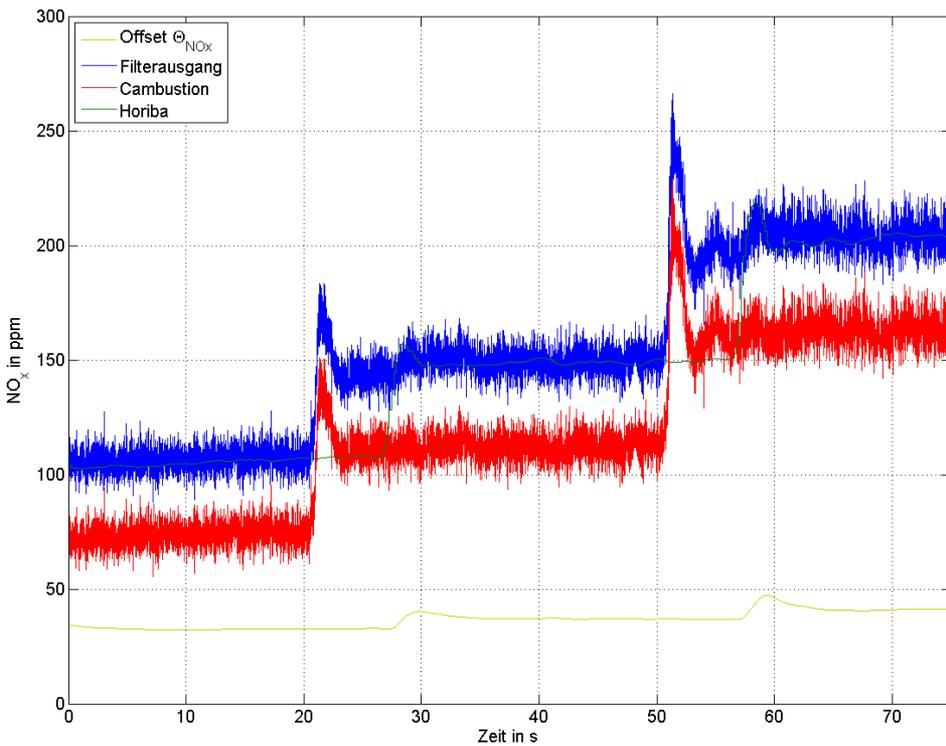
$$\begin{aligned} x_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 - a_{NO_x} & a_{NO_x} \end{bmatrix} x_{k-1} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 - a_{NO_x} \end{bmatrix} u_k + \begin{bmatrix} w_k \\ 0 \end{bmatrix} \\ z_k &= [0 \quad 1] x_k + v_k \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} x_k &= \left[\theta_{NO_x} \left(k - \frac{\tau_{NO_x}}{T_s} \right) x_{NO_x f}(k) \right]^T \\ z_k &= z_{NO_x}(k) \\ u_k &= x_{NO_x} \left(k - \frac{\tau_{NO_x}}{T_s} \right) \end{aligned} \right.$$

Kalman-Filter mit Offsetkorrektur:



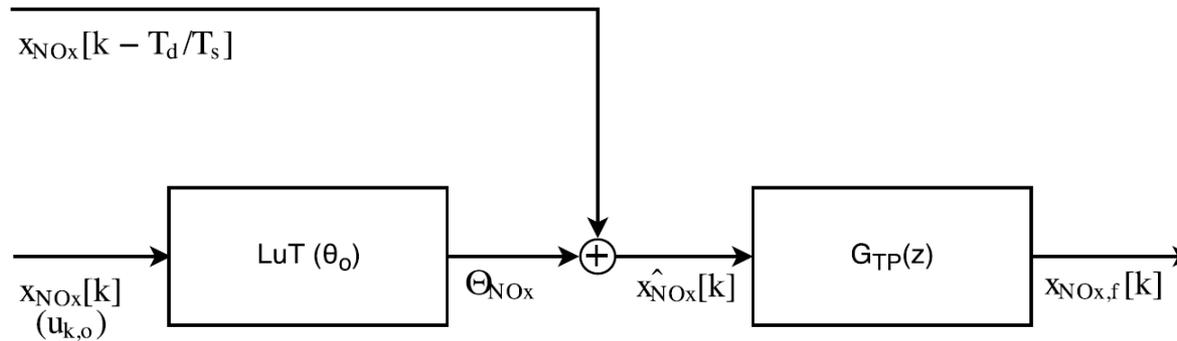
Kalman-Filter mit Offsetkorrektur:

Simulation mit Messdaten:

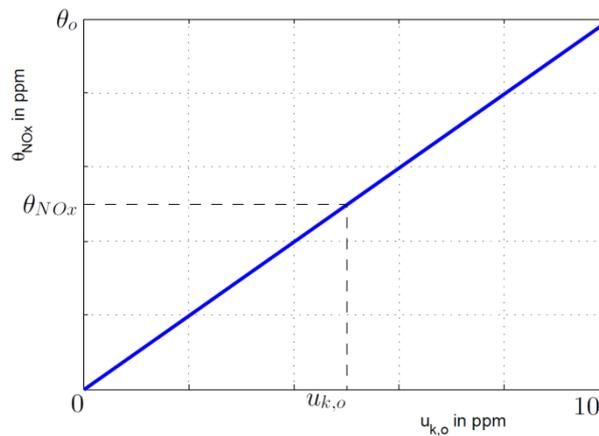


Offsetkorrektur mit Lookup-Table

- Offset wird anhand einer Lookup-Table (LuT) berechnet
- Lookup-Table wird mit Kalman-Filter angepasst



- Lookup-Table mit einem Parameter:



Offsetkorrektur mit Lookup-Table

- Modell enthält den LuT-Parameter als Zustand
- q_k im Modell ändert sich

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ q_k & 0 & 0 \\ 0 & 1 - a_{NOx} & a_{NOx} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}_{k-1} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot u_k + \begin{bmatrix} w_k \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$
$$z_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x}_k + v_k$$
$$q_k = \frac{x_{NOx}}{10^6}$$

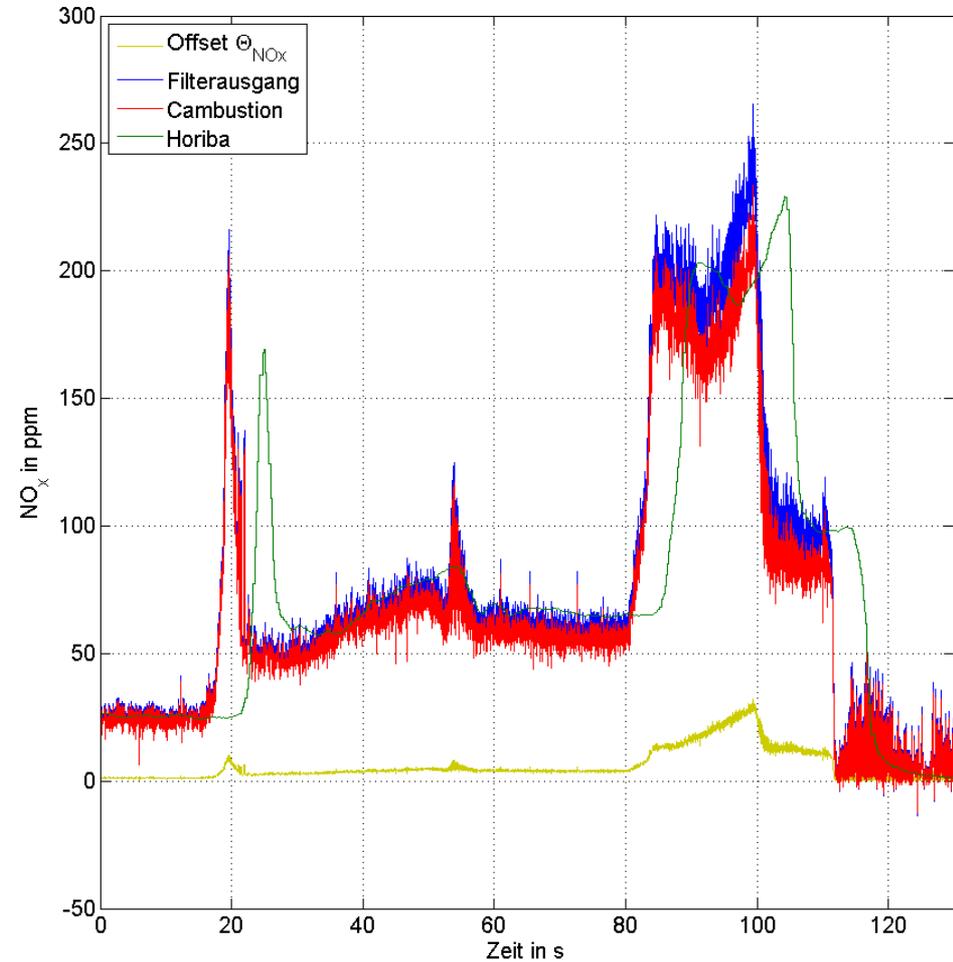
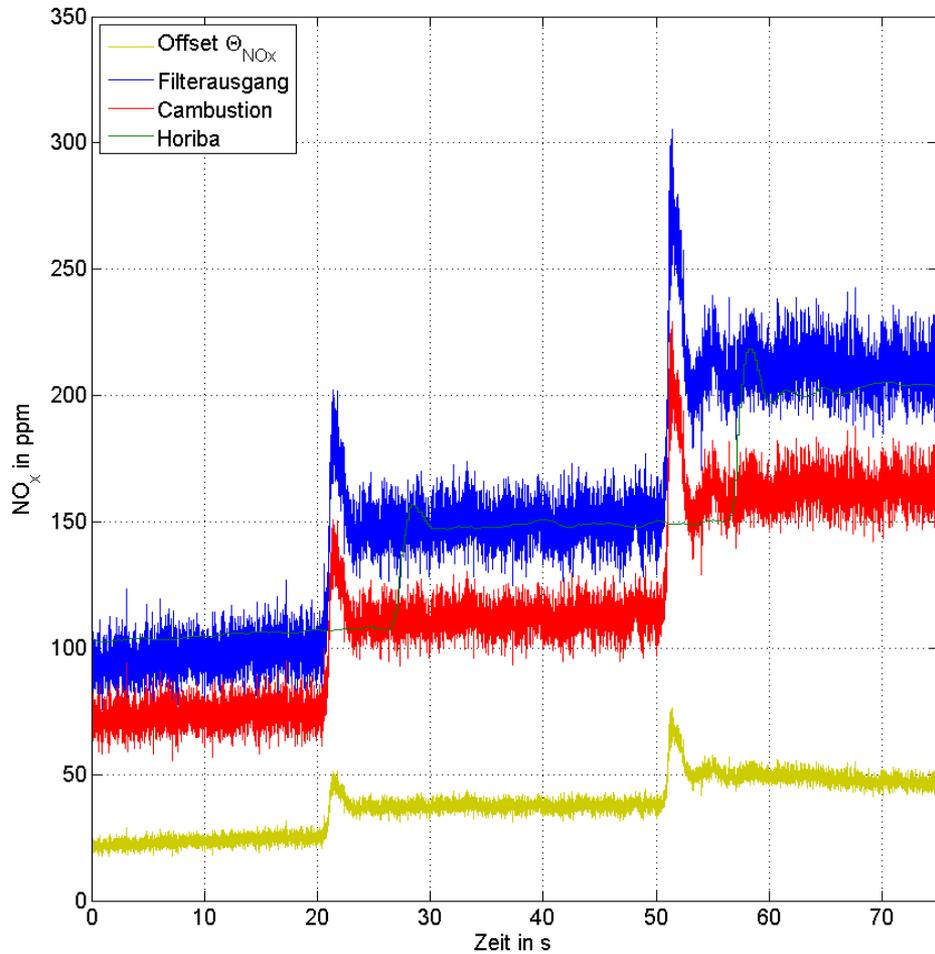
- Zustände:

$$\mathbf{x}_k = \left[\theta_o \left(k - \frac{T_d}{T_s} \right) \quad \hat{x}_{NOx}(k) \quad x_{NOx,f}(k) \right]^T$$

$$z_k = z_{NOx}(k)$$

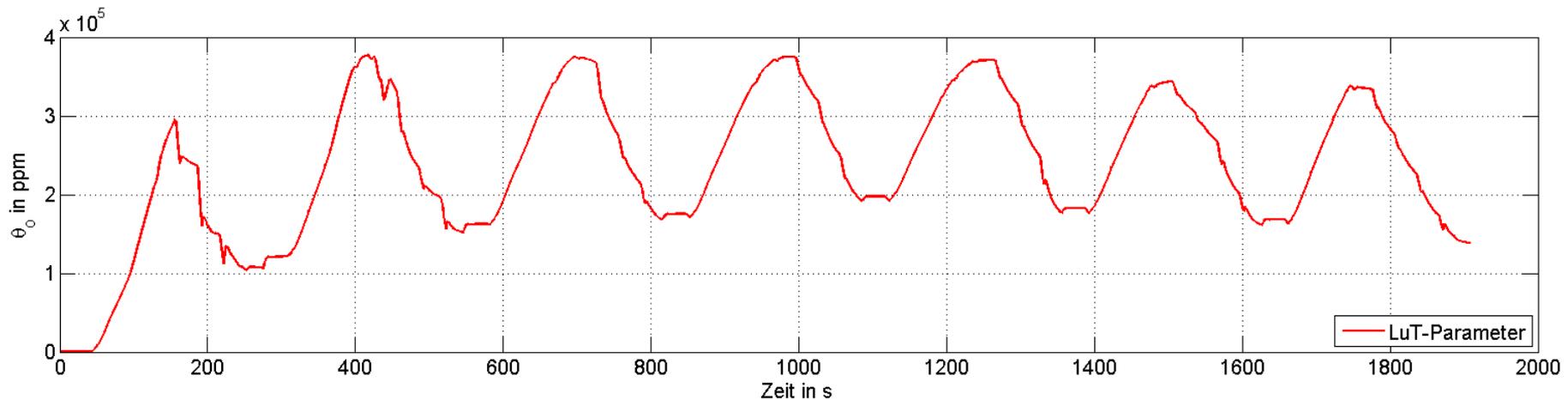
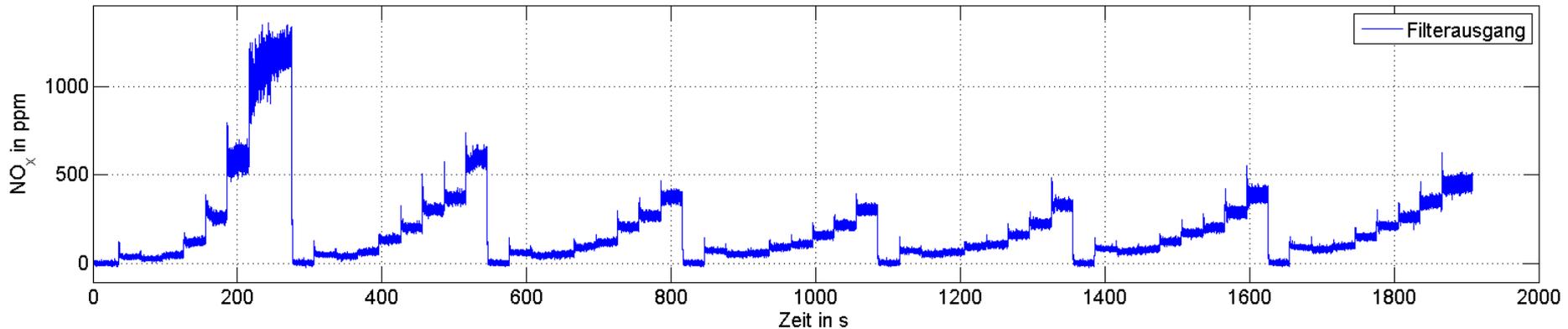
$$u_k = x_{NOx} \left(k - \frac{T_d}{T_s} \right)$$

Offsetkorrektur mit Lookup-Table



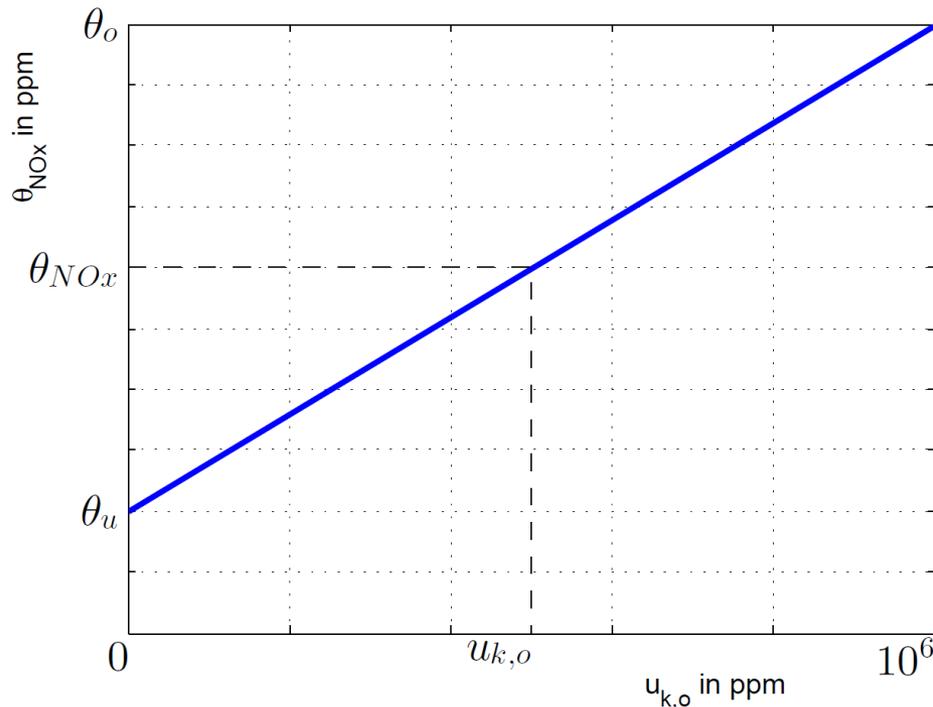
Offsetkorrektur mit Lookup-Table

- Verlauf des Lookup-Table Parameters:

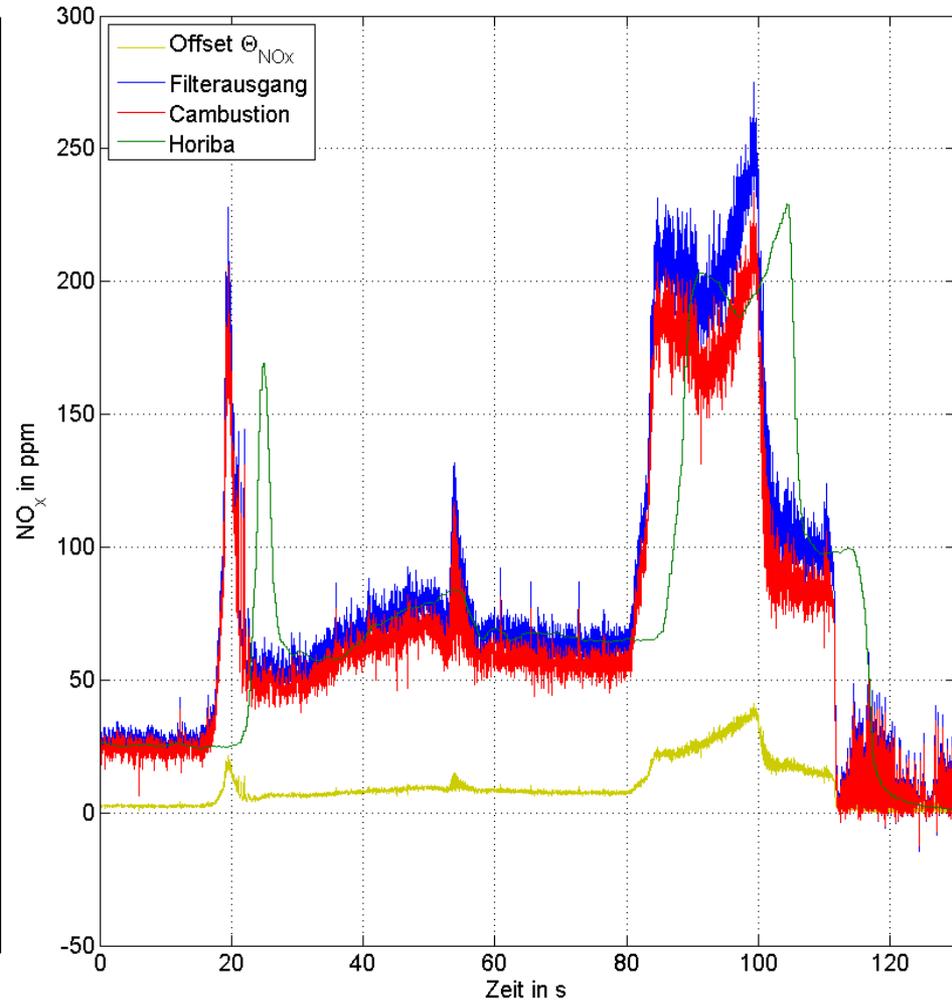
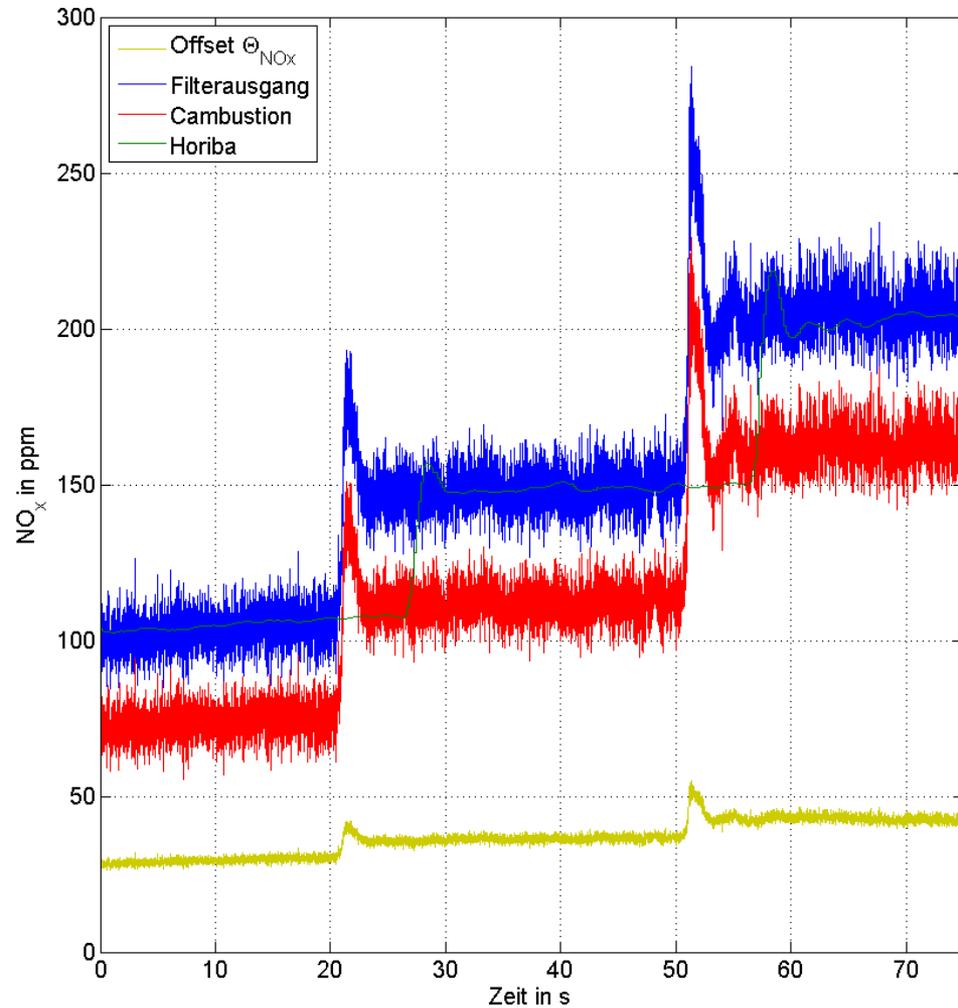


Offsetkorrektur mit Lookup-Table

- Lookup-Table um zweiten Parameter erweitern
- Zusätzlicher Zustand im Modell

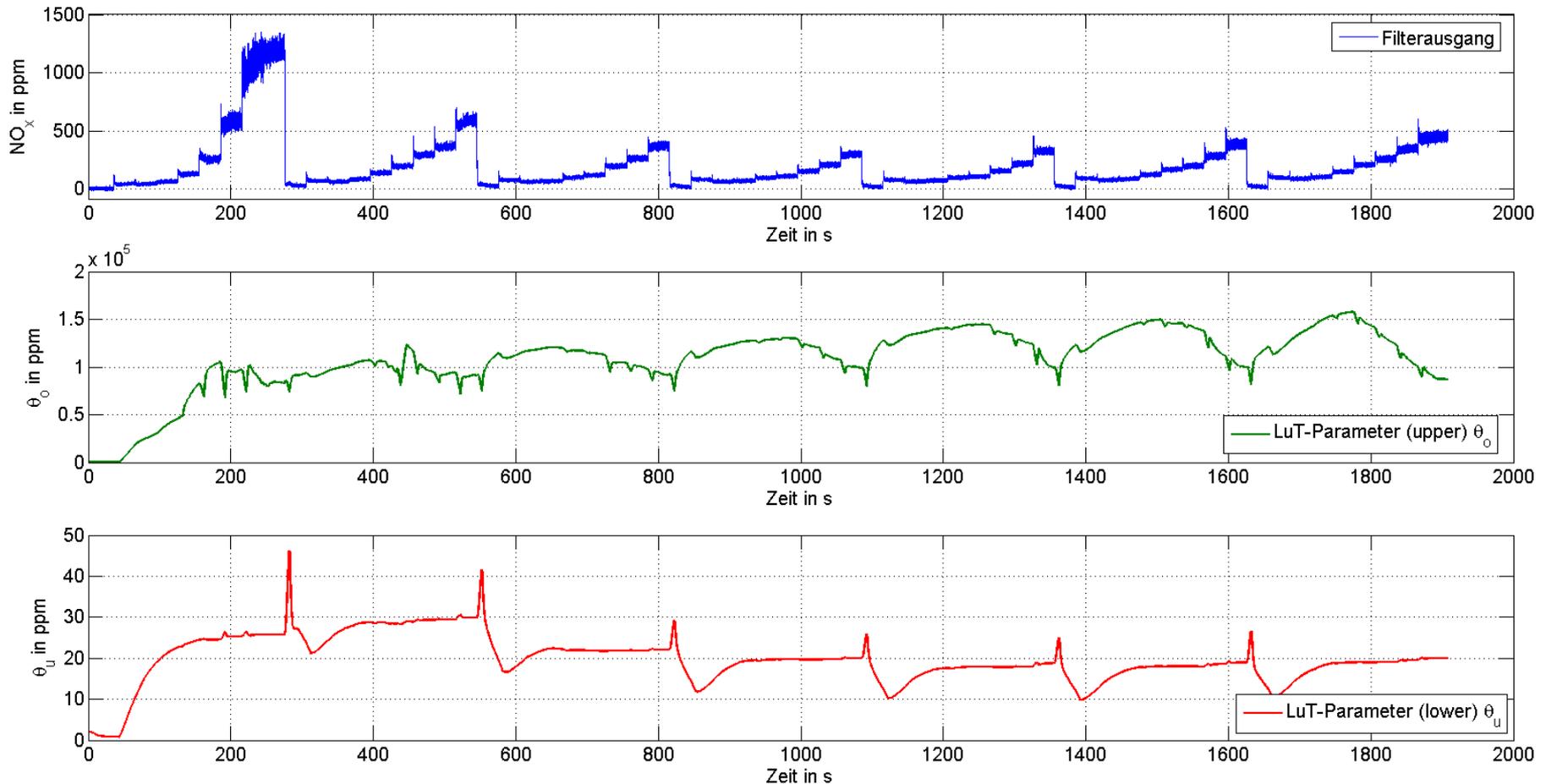


Offsetkorrektur mit Lookup-Table



Offsetkorrektur mit Lookup-Table

- Verlauf der Lookup-Table Parameter:



Zusammenfassung und Ausblick

- Sensorfusion:
 - Kombination von verschiedenen Sensoren
- Anwendung auf Stickoxidmessung
- Methoden:
 - Komplementärer Filter
 - Kalman-Filter mit Offsetkorrektur
 - Offsetkorrektur mit Lookup-Table

Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit