

Diplomarbeit

O₂-basierte prädiktive Regelung eines PKW-Dieselmotors

Autor: Stefan Aufreiter
Betreuung: Dr. Daniel Alberer
Fertiggestellt: September 2012

Kurzfassung

In dieser Arbeit wurde eine Methode zur Regelung eines Euro 5 PKW-Dieselmotors unter Berücksichtigung alternativer Zielgrößen entwickelt, nämlich den Sauerstoffkonzentrationen vor und nach der Verbrennung im Zylinder. Zusätzlich zu diesen Zielgrößen wurde das Motordrehmoment als weitere Zielgröße herangezogen, um eine kombinierte Regelung des Luftsystems und der Kraftstoffeinspritzung zu realisieren. Für diese Aufgabe musste ein geeignetes Modell erstellt werden, wobei die Ermittlung der In-Zylinder Sauerstoffkonzentrationen eine Herausforderung darstellte. In Hinblick auf die Implementierung auf einem Echtzeitsystem beschränkte sich diese Arbeit auf lineare Methoden. Um trotzdem den gesamten (nichtlinearen) Arbeitsbereich des Dieselmotors aufspannen zu können, wurde eine bereichsabhängige Umschaltung zwischen lokalen linearen Reglern realisiert. Die Regelung erfolgte mit einem Online-modellprädiktiven Ansatz und wurde sowohl an einem Simulationsmodell als auch am realen Motor getestet. Den Referenzen der Sauerstoffkonzentrationen und des Drehmoments konnte dabei gut gefolgt werden und im Vergleich zur Serien-Standardregelung konnten Reduktionen der Emissionsspitzen gezeigt werden.

Einleitung

Aufgrund der immer strengeren gesetzlichen Begrenzungen der Emissionen bei Verbrennungskraftmaschinen ist es erforderlich, gezielte und effektive Maßnahmen zur Reduktion der schädlichen Abgase zu finden. Die seit September 2009 gültige Euro 5 Abgasnorm und die ab September 2014 gültige Euro 6 Abgasnorm für Diesel-PKW sind in Tabelle 1 dargestellt.

Gesetzgebungsstufe	CO [g/km]	HC+NO _x [g/km]	NO _x [g/km]	PM [g/km]
Euro 5	0.5	0.23	0.18	0.005
Euro 6	0.5	0.17	0.08	0.005

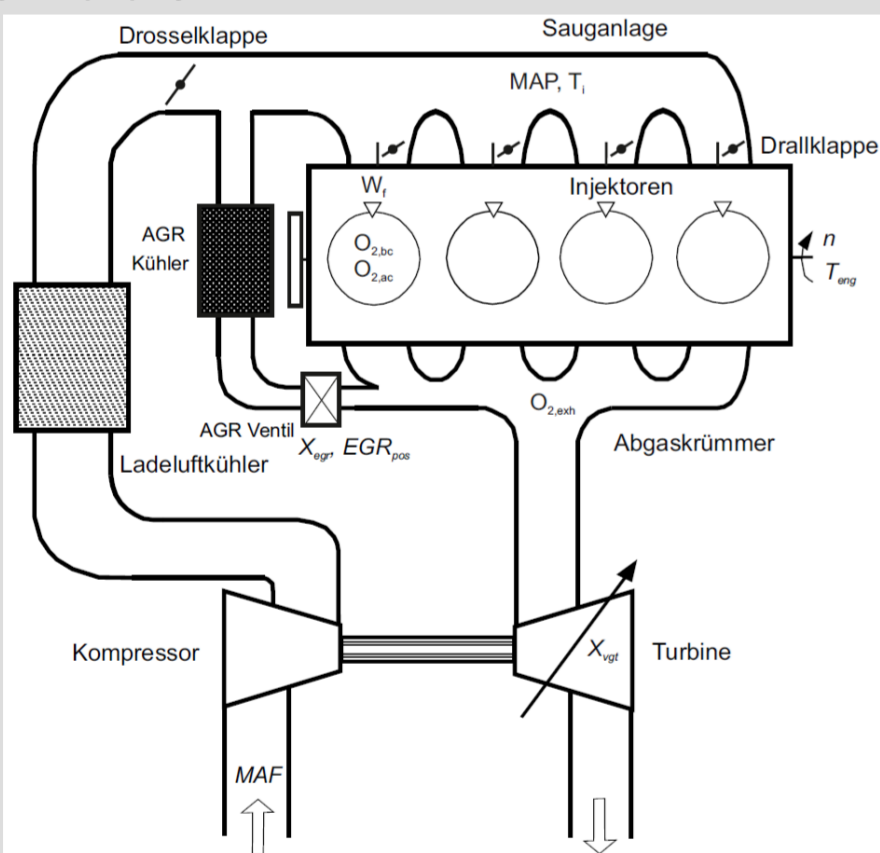
Tabelle 1: EU Emissionsstandards für Diesel-PKW

Eine Möglichkeit um die emittierten Schadstoffe von PKW-Dieselmotoren zu reduzieren, ist eine Verbesserung der Regelung zu implementieren. Anstelle der zumeist verwendeten Luftsystem-Regelgrößen Frischluftmasse und Ladedruck werden im Rahmen dieser Diplomarbeit die Sauerstoffkonzentrationen vor und nach der Verbrennung im Zylinder herangezogen.

Der Vorteil bei der Verwendung der Sauerstoffkonzentrationen als Zielgrößen ist die starke Korrelation zu den NO_x- und PM-Emissionen. Weiteres wird durch diese Wahl eine Kombination aus Luftsystem- und Einspritzmengenregelung erreicht. Aufgrund der am realen System stark ausgeprägten Systemkoppelung zwischen Luftsystem und Kraftstoffeinspritzung, stellen die Sauerstoffkonzentrationen als Zielgrößen, im Gegensatz zur üblichen entkoppelten Betrachtung, eine „natürlichere Wahl“ dar.

Modellbildung & Reglerauslegung

Schematische Darstellung des am Prüfstand verwendeten 4 Zylinder Euro 5 PKW-Dieselmotors



Ermittlung der Sauerstoffkonzentration vor der Verbrennung im Zylinder O_{2,bc}

$$O_{2,bc} = O_{2,ac} + O_{2,c}$$

$$O_{2,c} = X_{O_2} \cdot \frac{m_{air,c}}{m_{tot}}$$

$$m_{air,c} = AR_{stoich} \cdot W_f$$

$$m_{tot} = m + W_f$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$m = m_0 \cdot \frac{MAP}{MAP_0} \cdot \frac{V}{V_0} \cdot \frac{T_{i,0}}{T_i} \Big|_{R=konst.}$$

$$O_{2,bc} = O_{2,ac} + X_{O_2} \cdot \frac{AR_{stoich} \cdot W_f}{W_f + m_0 \cdot \frac{MAP}{MAP_0} \cdot \frac{V}{V_0} \cdot \frac{T_{i,0}}{T_i}}$$

Modellprädiktiver Regler (MPC)

$$u_{i,opt} = \arg \min_u \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n_{PH}} (y_i - y_{ref,i})^T Q_y (y_i - y_{ref,i}) + \Delta u_i^T R \Delta u_i$$

s.t.

$$\Delta u_i = u_i - u_{i-1}$$

$$x_{i+1} = Ax_i + Bu_i$$

$$y_i = Cx_i$$

$$i = 0 \dots n_{PH}$$

$$i = 0 \dots n_{CH} - 1$$

$$i = n_{CH} \dots n_{PH}$$

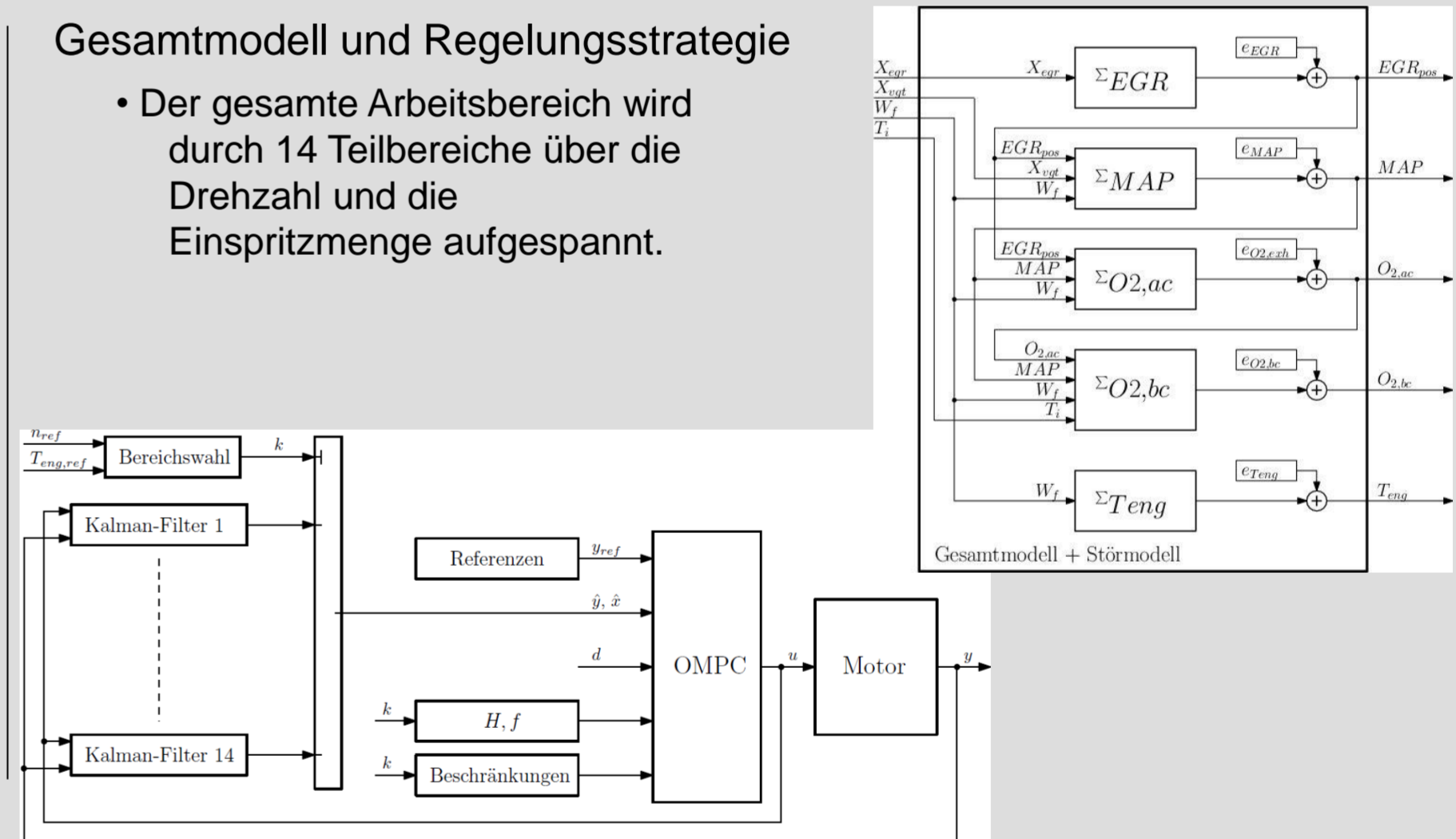
$$\underline{y} \leq y_i \leq \bar{y}$$

$$\Delta \underline{u} \leq \Delta u_i \leq \Delta \bar{u}$$

$$\Delta u_i = 0$$

Gesamtmodell und Regelungsstrategie

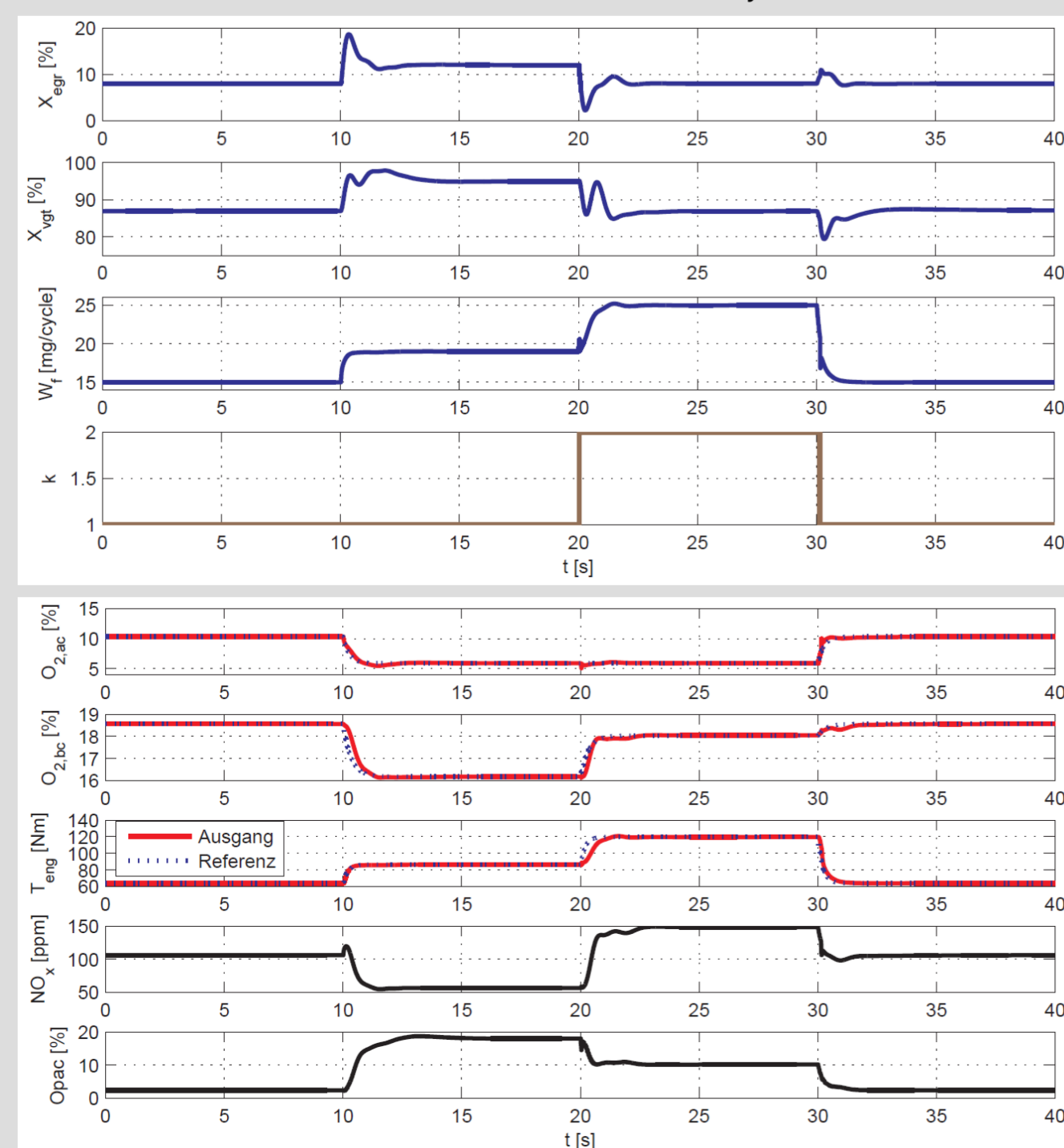
- Der gesamte Arbeitsbereich wird durch 14 Teilbereiche über die Drehzahl und die Einspritzmenge aufgespannt.



Simulationsergebnis

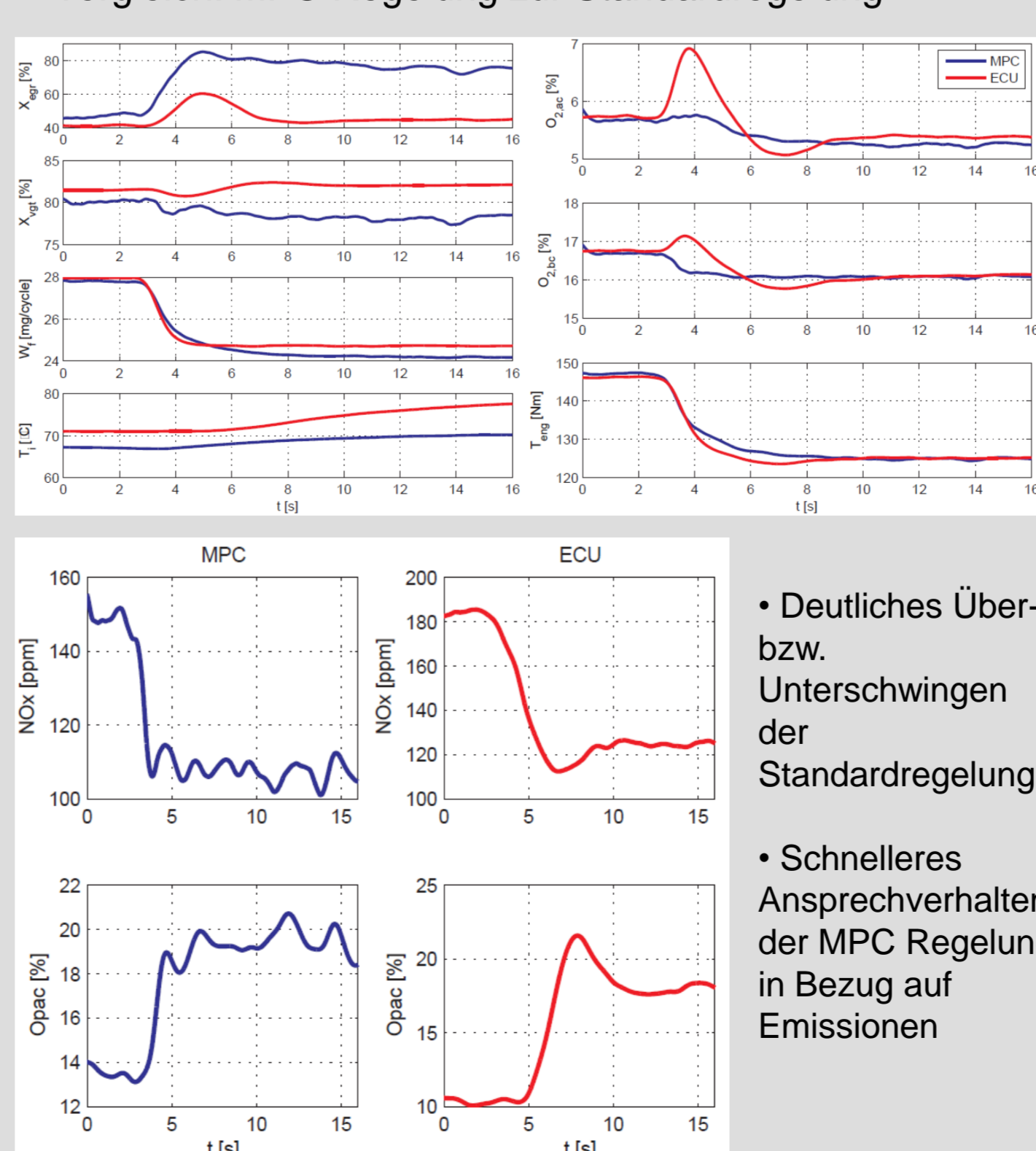
Umschaltung zwischen zwei Arbeitsbereichen

- Bereich 1: n=1800 min⁻¹, W_f=15 mg/cycle
- Bereich 2: n=1800 min⁻¹, W_f=25 mg/cycle



Prüfstandsergebnis

Vergleich: MPC Regelung zur Standardregelung



- Deutliches Über- bzw. Unterschwingen der Standardregelung
- Schnelleres Ansprechverhalten der MPC Regelung in Bezug auf Emissionen

Schlussfolgerungen & Ausblick

Schlussfolgerungen

- Durch die kombinierte Regelung des Luftpfades und des Einspritzpfades konnte eine Performancesteigerung erreicht werden
- Das transiente Verhalten konnte verbessert werden
- Es kann gezielt Einfluss auf die Emissionsbildung genommen werden

Ausblick

- Verbesserung der Modellgenauigkeit durch Aufnahme der Drehzahl in die Modellbildung
- Erweiterung der Regelungsstrategie durch nichtlineare Methoden