

# Diplomarbeit:

## Verbesserung eines Frischluftmassenmodells mit Hilfe von Umgebungsgrößen an einem modernen Dieselmotor

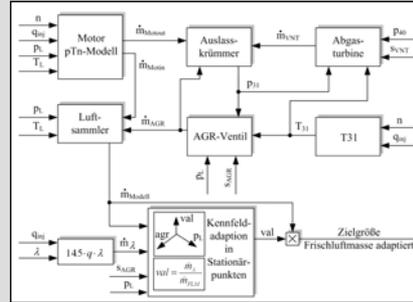
**Autor:** Harald Vierlinger  
**Betreuung:** Prof. Dr. Luigi del Re  
 Dr. Schinnerl Michael  
 DI Fortner Thomas  
**Partner:** BMW Motoren GmbH Steyr  
**Fertigstellung:** Juli, 2005

### Kurzfassung

In modernen dieselbetriebenen Personenkraftwagen wird zu einem sehr hohen Prozentsatz ein Sensor zur Messung der benötigten Frischluftmasse eingesetzt. Dieser Heißfilmluftmassenmesser (HFM) ist ein sehr komplexes Bauteil, bezogen auf den funktionalen und konstruktiven Aufbau. Die Fertigung des Sensorelementes ist aufwendig und dadurch teuer. Zusätzlich verschlechtert sich die Messgenauigkeit mit zunehmender Lebensdauer des Sensors. Diese Diplomarbeit stellt einen Ansatz zur Generierung eines HFM Ersatzsignals, basierend auf anderen Messgrößen, dar. Sie baut auf den Ergebnissen einer früheren Arbeit auf. Ausgegangen wird bei der Modellierung von der Ermittlung des gesamten Massenstroms, der in den Motor gelangt. Zusätzlich wird versucht, den auftretenden Massenstrom über das Abgasrückführventil (AGR-Ventil) zu modellieren. Aus diesen beiden Massenströmen kann durch eine Massenbilanz im Luftsammler auf den aktuellen Frischluftmassenstrom vor dem AGR-Ventil geschlossen werden. Bei stationärem Motorbetrieb wird aus dem gemessenen Lambda-Wert und der aktuellen Einspritzmenge auf eine Frischluftmasse zurückgerechnet. Der Fehler zwischen Lambda-Frischluftmasse und der Modell-Frischluftmasse wird als Faktor in einem Kennfeld abgelegt und so herausadaptiert. Zur Bestimmung der rückgeführten Abgasmasse ist die Kenntnis von Abgasdruck und Abgastemperatur im Auslasskrümmer notwendig. Die Temperatur wird grundsätzlich über ein stationär ermitteltes Motorkennfeld festgelegt. Der Druck wird durch eine Massenbilanz im Auslasskrümmer in Verbindung mit einem Turboladermodell berechnet. Dieses physikalisch basierte Modell bietet eine hohe Flexibilität bezüglich anderer Motorvarianten und die verwendeten Daten können jederzeit appliziert werden.

### Modellbildung

#### Gesamtsystem:



Eingangsgrößen	Ausgangsgrößen
$n$ [min <sup>-1</sup> ]	Frischluftmasse [mg/Hub]
$q_{inj}$ [mg/Hub]	Frischluftmasse [kg/h]
$q_{mma}$ [mg/Hub]	
$p_i$ [mbar]	
$T_i$ [°C]	
$p_{40}$ [mbar]	
$s_{VNT}$ [%]	
$s_{AGR}$ [mV]	
$\lambda$ -Wert [-]	
$\lambda$ -Sonde aktiv [bit]	
$T_{TWA}$ [°C]	

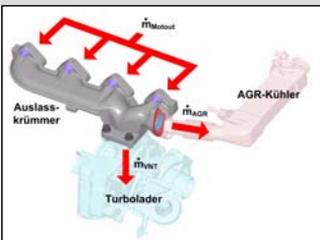
#### Funktioneller Ablauf:

- Ermitteln der aktuellen Menge an Frischluft + Abgas in den Zylinder (Modul 'Motor pTn-Modell')
- Ermitteln der aktuellen Menge an rückgeführtem Abgas (Module 'Auslasskrümmer', 'Abgasturbine', 'AGR-Ventil' und 'T31')
- Ermitteln der Frischluftmasse (Modul 'Luftsammler')
- Adaptiver Abgleich der berechneten Frischluftmasse mittels Lambda-Wert (Modul 'Kennfeldadaption')

#### Modul 'Auslasskrümmer'

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{Motou} - \dot{m}_{VNT} - \dot{m}_{AGR}$$

$$p_{31} = \int \frac{R \cdot T_{31}}{V_{31}} \cdot (\dot{m}_{Motou} - \dot{m}_{VNT} - \dot{m}_{AGR}) \cdot \Delta t$$

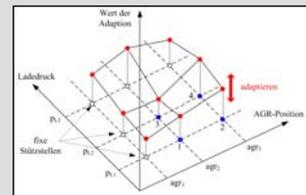


#### Modul 'AGR-Ventil'

$$\Psi \left( \frac{p_L}{p_{31}} \right) = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \left[ \left( \frac{p_L}{p_{31}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - \left( \frac{p_L}{p_{31}} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right]}$$

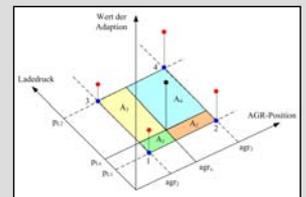
$$\dot{m}_{AGR} = A(s_{AGR}) \cdot \frac{p_{31}}{\sqrt{R \cdot T_{AGRK}}} \cdot \Psi \left( \frac{p_L}{p_{31}} \right)$$

#### Modul 'Abgasturbine'

$$\dot{m}_{VNT} = f(p_{31}, p_{40}, T_{31}, s_{VNT})$$


#### Modul 'Kennfeldadaption'

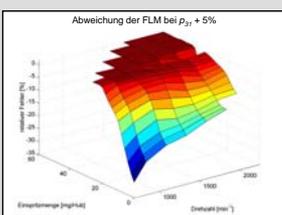
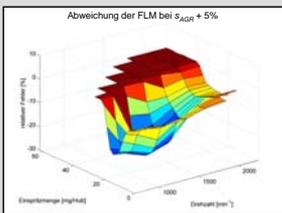
1. Stationärererkennung des Luftsystems
2. Aktuelle Adaptionwert berechnen  $= f(p_L, s_{AGR})$   
 $\dot{m}_2 = 14.5 \cdot \lambda_{AG} \cdot q_{inj}$   
 $f(p_L, s_{AGR}) = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_{HFM}}$
3. Zu adaptierenden Punkt auf die umliegenden vier Stützstellen gewichten (Bilder rechts)



## Messtechnische Untersuchungen

#### Empfindlichkeitsanalyse:

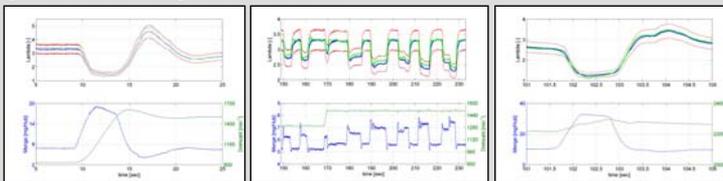
Dies zeigt Auswirkungen von möglichen Sensorabweichungen ( $s_{AGR}$ ) oder Modellfehlern ( $p_{31}$ ) auf die modellierte Frischluftmasse (FLM). Betrachtet wird die Empfindlichkeit in kritischen Motorbetriebspunkten.



#### Dynamische Untersuchungen:

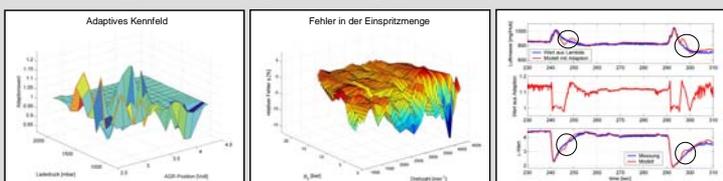
Um die Ergebnisse dynamisch vergleichen zu können wird auf den  $\lambda$ -Wert zurückgegriffen. Dazu muss das modellierte Lambda mittels Filterung und Totzeitglied verändert werden. (Bild rechts)

grün = Modell-Lambda blau = Messung-Lambda rot = ± 10% Toleranzband



#### Analyse der Adaption:

Hohe Inhomogenitäten im adaptiven Kennfeld, hauptsächlich verursacht durch Schwankungen der Einspritzmenge, führen bei hochdynamischen Vorgängen zu Fehlern bei FLM und  $\lambda$ -Wert.



## Schlussfolgerung

#### Ergebnisse:

- Vorhandene Struktur konnte um ein Modell der Abgasseite erweitert werden
- Berücksichtigung von Drallklappen und Drosselklappe
- Verbesserter Adaptionalgorithmus
- Schwierigkeiten bei der Adaption konnten analysiert werden
- Berücksichtigung von Diagnosemöglichkeiten

#### Ausblick

- Zusätzlicher Drucksensor im Auslasskrümmer
- Verbessertes Modell der Motorfüllung (volumetrischer Wirkungsgrad)
- Genauere Modellierung der Abgastemperatur
- Geometrisch verändertes AGR-Ventil
- Entwicklung einer Messmöglichkeit für auftretenden Luft- oder Abgasmassenströmen am Motor (kritischer Einfluss von Temperatur, Druck und Vibrationen)
- Anpassen der Verbrennungssimulation
- Emissionsuntersuchungen mit EU4 Fahrzeug