

Diplomarbeit: Regelung neuer Abgasrückführsysteme an einem modernen PKW-Dieselmotor

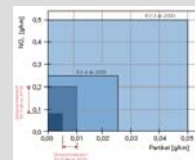
Autor: Stefan Reiter
Betreuer: Prof. Dr. Luigi del Re
 Dipl.-Ing. Engelbert Grünbacher
 Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Brüne
 Dipl.-Ing. Gerhard Weiß
Partner: BMW Motoren GmbH Steyr
Abschluss: Okt. 2005

Kurzfassung

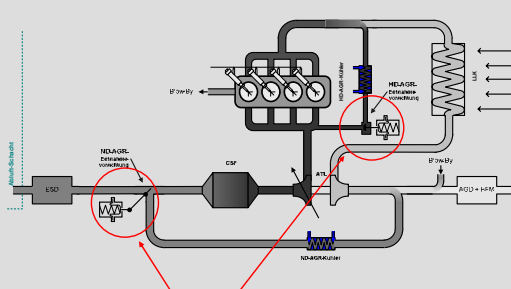
Ein wichtiges Bestreben der Automobilindustrie ist neben dem Erfüllen der hohen Kundenerwartungen bzgl. Fahrleistung die Reduktion der in Verbrennungsmotoren entstehenden Schadstoffe. Neben der Absenkung der Partikel stellt die Stickoxidminderung (NO_x -Reduktion) einen wichtigen Bereich der Abgasreduktion bei Dieselmotoren dar. Bei fast allen Verfahren zur NO_x -Reduktion liegt das Prinzip der Senkung der Verbrennungsspitzen-temperatur zu Grunde. Die wichtigste in Serie eingesetzte Methode bei PKW - Dieselmotoren ist die Abgasrückführung. Dabei wird Abgas aus dem Abgaskrümmer des Motors entnommen und auf der Saugseite dem Luftsammler wieder zugeführt. Diese Methode birgt jedoch eine Reihe von Nachteilen. Dazu zählen der Anstieg der Ladelufttemperatur und der Massenstromverlust über die Turboladerturbine. Durch das Entnehmen des Abgases nach der Turbine des ATL (Abgasturbolader) und Zuführen vor dem Verdichter kann das System verbessert werden. Dass dies mit heutigem Stand der Technik machbar ist, wurde bereits nachgewiesen. Bei all den Vorteilen dieses neuen Verfahrens kann jedoch nicht zur Gänze auf die bewährte Technik der Abgasrückführung verzichtet werden. Ein kombinierter Betrieb der beiden Verfahren wird daher angestrebt. In dieser Diplomarbeit wurde nun eine Regelung entworfen, die ein simultanes Beimischen von AGR über das Reinfluftrohr sowie vor dem Verdichter ermöglicht. Dazu ist es nötig, zwei Aktuatoren so zu regeln, dass der vorgegebene Frischluftmassenanteil, die als Führungsgröße dient, gefolgt werden kann. Ein Regelkonzept wurde entworfen und im Rapid - Prototyping - System ASCET umgesetzt. Zur Beurteilung der erreichten NO_x -Reduktion wurden stationäre und dynamische Tests am Motorenprüfstand sowie Dynamiktests in einem Versuchsfahrzeug von BMW durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Tests bestätigen das Potential dieser neuen Technologie und lassen hoffen, dass schon in wenigen Jahren die Umsetzung in der Serienproduktion von PKW - Dieselmotoren möglich wird.

Einführung:

Von den Dieselmotorenentwicklern wird die Einhaltung der voraussichtlich mit Anfang 2010 in Kraft tretenden EU-V Norm angestrebt. Zum Erreichen dieses Ziels werden neue AGR - Verfahren entwickelt.



Neues AGR - Verfahren zur Stickoxidreduktion



Eine möglichst genaue Regelung des Frischluftmassenanteils der Motorfüllung wird angestrebt. D.h. der Inertgasanteil an der Motorfüllung ist von der AGR - Regelung so zu regeln, dass der benötigte Sauerstoff der Verbrennung zugeführt wird.

HD - AGR

Abgas wird aus dem Auslasskrümmer entnommen und dem Reinfluftrohr zugeführt.

ND - AGR

Das partikelgereinigte Abgas wird nach Partikelfilter abgezweigt und vor ATL - Verdichter zugeführt.

Regelung der beiden Aktuatoren zur AGR - Beimischung erforderlich

- Frischluftmasse als Führungsgröße
- 2 Aktuatoren für eine Führungsgröße
- HD - AGR mit Wegrückmeldung und Positionsregler
- Auf ND - AGR wirkt HD - AGR als Störgröße

Modellbildung und Regler

Physikalisches Modell der HD - AGR

Reibungsbehaftete, stationäre, eindimensionale Strömung



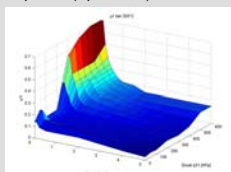
Annahme 1:

- ideales Gas
- stationäre Strömung
- adiabate Strömung
- horizontal verlaufende Strömung
- quasistatische Zustandsänderungen des idealen Gases

Massenstrommessungen am Prüfstand führen schließlich über

$$\mu_1 = \frac{\dot{m}}{s \sqrt{2 P_{31} \rho_{31} \psi}} \text{ auf } \mu_1.$$

$$\mu_1 = F(\Delta p, T_{31}, s)$$



Ist s die Ventilöffnung so gilt:

$$\mu_1 = \frac{\mu A}{s} \quad \dot{m} = \mu_1 s \sqrt{2 P_{31} \rho_{31} \psi}$$

Temperaturkorrektur

Massenstrom durch das Ventil

$$\dot{m}_{eff} = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 P_0 \rho_0} \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left(\frac{p}{P_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p}{P_0} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}}$$

Entscheidend ist die Kenntnis von μ welches die innere Reibung des Fluids als auch den Effekt der Einschnürung abbildet.

Die Reibung mindert die Geschwindigkeit des strömenden Mediums. Dies beschreibt der Reibungsbeiwert φ

Die Kontraktionszahl α beschreibt den Effekt der Einschnürung, der bei scharfkantigen Öffnungen auftritt.

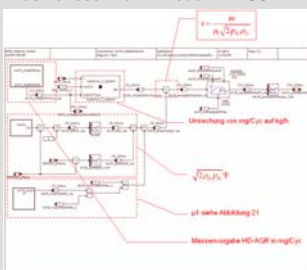
$$w_r = \varphi w$$

$$A_{eff} = \alpha A$$

$$\mu = \alpha \varphi$$

Zusammen ergeben Reibungsbeiwert und Kontraktionszahl den Durchflussbeiwert μ

Positionssollwert - Modell in ASCET

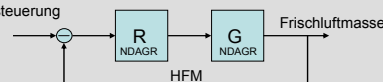


Aus der Kenntnis von μ_1 kann von Massenstrom auf Ventilöffnung rückgerechnet werden

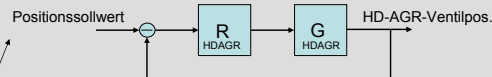
$$s = \frac{\dot{m}}{\mu_1 \sqrt{2 P_{31} \rho_{31} \psi}}$$

Massenstromregelung (NDAGR)

Massenstromvorgabe aus Motorsteuerung



Positionsregelung (HDAGR)



Zusammenfassung und Ausblick

Durch das neue Abgasrückführverfahren mit der dieser Arbeit zu Grunde liegenden AGR-Regelung konnten folgende Effekte erzielt werden:

- niedrigere Ladelufttemperatur
- höhere ATL Drehzahl
- höherer ATL - Wirkungsgrad
- höherer Ladedruck

Ergebnis sind höhere Füllgrade und höhere AGR - Raten mit niedrigeren Verbrennungsspitzen-temperaturen, was zu deutlich geringeren NO_x -Emissionen führt.

Um das Potential vollständig zu erschließen ist eine weitere Optimierung der Hardware (AGR-Ventile) und entsprechende Anpassung der Reglerapplikation notwendig.