



Dynamische Harnstoff-Verbrauchsmessung in der Entwicklung, Produktion und Applikation von SCR-Systemen

Dynamic Urea Consumption Measurement in Development, Production and Application of SCR-Systems

Dr. M. Dürrwächter, Dr. H. Kammerstetter, S. Peuse, M. Werner
AVL Pierburg Instruments Flow Technology GmbH, Neuss
B. Hollauf
AVL List GmbH PTE / DSA, Graz, Österreich
T. Sacher
AVL List GmbH PTE / DEA, Graz, Österreich



1. Einleitung

Moderne Abgasnachbehandlungskonzepte für Dieselmotoren verwenden SCR-Systeme (Selective Catalytic Reduction) wegen ihrer hohen Effizienz bei der Verringerung der Stickoxid-Emission (NO_x) und ihres damit verbundenen Potentials zur Verringerung des Kraftstoffverbrauchs durch innermotorische Maßnahmen. Durch die erzielbaren NO_x-Reduktionsraten >90% können die herausfordernd geringen Grenzwerte aktueller und zukünftiger Abgasnormen (z.B. US2010, Euro6) eingehalten werden und gleichzeitig Beiträge zur Verminderung des Kraftstoffverbrauchs und zur Wirtschaftlichkeit der Abgasnachbehandlung geleistet werden.

SCR-Systeme bestehen aus einem Niederdruck-Einspritzsystem, welches eine wässrige Harnstofflösung (auch bekannt unter dem Markennamen AdBlue®) als Reduktionsmittel in den Abgasstrom einspritzt und einem Katalysator in welchem das im heißen Abgas entstandene Ammoniak mit Stickoxid zu Stickstoff und Wasser reagiert.

Um einerseits die NO_x-Emissionen möglichst stark zu senken und andererseits kein überständiges Ammoniak auszustoßen ist es entscheidend, das Reduktionsmittel AdBlue® in allen Betriebszuständen des Motors exakt zu dosieren. Für diese Aufgabe verarbeitet die elektronische Dosiersteuerung (DCU) die relevanten Zustandsdaten aus der Motorsteuerung (ECU) und die Messdaten von Sensoren im Abgasstrahl. Die Dosierung erfolgt in der Regel anhand eines komplexen Berechnungsmodells auf Basis eines gespeicherten Kennfelds und aktueller Sensordaten.

Eine wichtige Voraussetzung für das optimale Zusammenspiel der genannten SCR-Systemkomponenten ist zunächst die präzise Funktion des Harnstoff-Dosiersystems. Diese wird grundlegend sichergestellt durch eine sorgfältige Überprüfung der Dosier-Kennlinien in der Entwicklung und Produktion der Niederdruck-Einspritzsysteme. Die Injektor-Charakterisierung anhand stationärer Schussmengenmessung erfordert ein sehr präzises Messgerät und stabile Rahmenbedingungen um die geforderte Messunsicherheit zum Erreichen der Messmittelfähigkeit auch bei kleinsten Durchflussraten von unter 10g/h sicherzustellen. Das bereits im Kraftstoffbereich bewährte AVL Shot To Shot™ PLU131 Durchflussmesssystem liefert für diese Aufgabe unvergleichlich präzise Messdaten.

Die wesentlichen Applikationsaufgaben bei der Integration des SCR-Systems in die Abgasnachbehandlung eines Dieselmotors sind die Einstellung des Steuergeräts, d.h. die Kalibrierung der Harnstoff-Dosiermengen über das gesamte Motor-Kennfeld (Last/Drehzahl) und deren Überprüfung in Emissionszyklen. Die kontinuierliche Verbrauchsmessung der eingespritzten Harnstofflösung unterstützt dabei die direkte Massenbilanzierung bei der Modellverifikation sowie die Funktionsüberwachung des Einspritzsystems. Das AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmesssystem ermöglicht diese hochdynamischen Messungen des transienten Verbrauchs während Emissions-Testzyklen (ETC, FTP) am Motor- oder Rollenprüfstand.

2. Messtechnische Rahmenbedingungen

Der Verbrauch an Harnstofflösung eines SCR-Systems liegt bei ca. 3-5% des entsprechenden Kraftstoffverbrauchs des Dieselmotors. Daraus ergibt sich die besondere Herausfor-

1. Introduction

Modern concepts for Diesel engine exhaust aftertreatment include SCR systems (Selective Catalytic Reduction) due to their highly efficient nitrogen oxide (NO_x) reduction and the related potential for reduced fuel consumption via engine internal measures. With achievable NO_x reduction rates higher than 90% compliance with current and future exhaust emission legislation (e.g. US2010, Euro6) can be accomplished. In the same time SCR contributes to engine fuel economy and cost effectiveness of exhaust aftertreatment.

SCR systems consist of a low pressure injection system, and a catalyst. As a reducing agent aqueous urea solution (also known under the brand name of AdBlue®) is sprayed into the hot exhaust stream, where ammonia is created in a hydrolysis reaction. The ammonia stored in a subsequent catalyst, where it reacts with nitrogen oxide to water and Nitrogen.

In order to achieve a maximum NO_x emission reduction rate on one hand and avoid ammonia slip on the other exact quantities of the reducing agent AdBlue® need to be injected in every operational state of the engine. An electronic dosing control unit (DCU) receives the relevant data on engine state from the engine controller (ECU) and measurement data from sensors in the exhaust system. Dosing quantity usually is determined with complex calculation models based on a stored calibration map and online sensor data.

Precise performance of the urea dosing system is an important requirement for optimized coordination between the mentioned SCR system components. It is verified via investigation of injector characteristics in development and production of low pressure injection systems. Injector characterization by steady-state injection quantity measurement requires a very precise measurement instrument and stable environmental conditions for the necessary measurement uncertainty required to reach "measurement capability" down to smallest flow rates around 10g/h. The AVL Shot To Shot™ PLU131 has proven unique precision in fuel injector characterization for many years.

The primary task of a SCR system application into the exhaust aftertreatment system of a diesel engine are urea dosing calibration of the control unit in all engine operational states (load/speed engine map) and its test in emission cycle operation. Continuous consumption measurement of the injected urea supports direct mass balance in dosing model verification and it facilitates monitoring of the injection system operation.

The AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement System is uniquely capable of this highly dynamic flow rate measurement during transient emission test cycles (e.g. ETC, FTP) on engine or chassis dyno test bed.

2. Measurement Conditions

Urea consumption of an SCR system amounts to about 3-5% of the corresponding Diesel engine fuel consumption. This implies the main challenge in urea consumption mea-



derung der Harnstoff-Verbrauchsmessung im Vergleich zur Kraftstoff-Verbrauchsmessung: Die extrem geringen Durchflussraten bis unterhalb von 10g/h.

Aus dem geringen Durchfluss ergeben sich unmittelbar drei wesentliche physikalische Bedingungen für eine exakte Verbrauchsmessung:

1. Eine möglichst direkte Anbindung des Messgeräts an den Injektor mit kurzer, unelastischer Leitung. Die Minimierung des Schadvolumens zwischen Sensor und Injektor verringert Scheindurchflüsse aufgrund von Temperaturänderungen bzw. Druckschwankungen.
2. In der Nähe des Injektors herrschen pulsierende Druckverhältnisse durch die niederfrequente Harnstoffeinspritzung. Diese dürfen das Messgerät nicht stören und andererseits darf das Messgerät die Druckverhältnisse im Einspritzsystem nicht verändern (kein Druckabfall bzw. $\Delta p=0$).
3. Die vollständige Entlüftung des SCR-Einspritzsystems um eine blasenfreie Dosierung sicherzustellen. Bei den möglichen Durchflussraten von typisch $<5\text{kg/h}$ ist der Transport von Luftblasen im Leitungssystem in der Regel nicht ausreichend gesichert um die zügige Aus- oder Abscheidung zu gewährleisten.

Als Voraussetzungen einer zuverlässigen Harnstoff-Durchflussmessung sind also ein geeignetes Durchflussmessgerät und eine Entlüftungseinrichtung in den SCR-Systemaufbau zu integrieren.

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der Einflüsse auf verschiedene Durchflusssensoren an verschiedenen Messpositionen innerhalb des SCR-Systems. Auf die Auswahl eines für diese Messaufgabe geeigneten Durchflusssensors wurde an anderer Stelle bereits detailliert eingegangen [1]. Das PLU-Messprinzip ist für die Kleinstmengenmessung unter diesen Bedingungen ideal geeignet. Mit ihm lassen sich die geringste Messunsicherheit und der höchste Messmittelfähigkeitsindex erreichen. Im Labor ist die Waagenmessung hinter dem Dosiermodul eine ebenfalls geeignete Alternative. Insbesondere bei sehr kleinen Durchflussraten ergeben sich jedoch sehr lange Messzeiten und dadurch auch höhere Anforderungen an die Stabilität der Umgebungsbedingungen (Druck, Temperatur). Im Produktionsbereich und am Motorprüfstand sind sie daher ungeeignet.

2.1. AVL Shot To Shot™ PLU131 Durchflusssystem

Das AVL Shot To Shot™ PLU131 Durchflusssystem hat sich bereits seit vielen Jahren bei der zyklus aufgelösten Durchflussmessung an Kraftstoff-Einspritzsystemen be-

surement compared to fuel consumption measurement: Extremely low flow rates down to 10g/h. Three fundamental physical requirements for exact consumption measurement are direct consequences of the low flow rate:

1. Direct connection between Measurement device and injector with a short inelastic tube. Minimization of the volume between sensor and injector reduces virtual flow due to temperature changes or pressure oscillation.
2. Low frequency urea injection produces pressure oscillations in the vicinity of the injector. The measurement device must not be disturbed by these oscillations and vice versa the instrument must not interfere with pressure conditions inside the injection system (no pressure drop, i.e. $\Delta p=0$).
3. Complete air purge of the injection system is required to achieve a bubble-free injection. A maximum possible flow rate of around 5kg/h, which is typical for SCR systems is insufficient for bubble transport through common system pipes.

As a consequence it can be stated that an appropriate sensor and efficient air purge instrumentation need to be integrated to the SCR system for a reliable urea consumption measurement.

Figure 1 shows an overview of influences on different flow sensor types in different measurement positions within the SCR system. Selection of the appropriate sensor for the measurement task has been discussed in detail before [1]. The PLU measurement principle is uniquely appropriate to measure extremely low flow rates under these conditions. It allows for lowest measurement uncertainty and highest measurement capability index. For the laboratory an outlet balance measurement behind the injector is a good alternative. However, at low flow rate a very long measurement time is necessary, which in turn requires higher stability in environmental conditions (pressure, temperature). Balance measurement is therefore inappropriate in

injector production and on engine test beds.

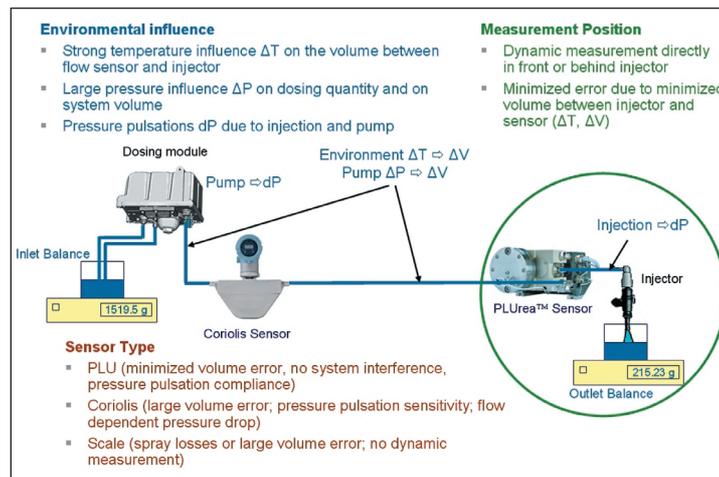


Abbildung 1:
Vergleich verschiedener Durchflusssensoren an verschiedenen Messpositionen
Figure 1:
Comparison of different flow sensor types in different measurement positions

2.1. AVL Shot To Shot™ PLU131 Flow Measurement System

The AVL Shot To Shot™ PLU131 Flow Measurement System has been widely used in cycle-resolved fuel flow measurement of fuel injection systems [2]. The combina-



währt [2]. Die Kombination eines rotatorischen und eines translatorischen Verdrängerzählers liefert sowohl präzise Einspritzraten als auch extrem genaue Schussmengen. Das duale PLU-Messprinzip ermöglicht STS außerdem eine flexible hydraulische Konfiguration des Messaufbaus. STS-Sensoren können sowohl auf der Hochdruckseite im Zulauf des Injektors (Up-stream) als auch im Niederdruck (Downstream) auf der Ablaufseite verwendet werden. Das AVL Shot To Shot™ PLU 131 ist das einzige Schussmengenmesssystem welches eine präzise Messung auf der Zulaufseite des Injektors (Upstream) am ungestörten Einspritzsystem ermöglicht. Abbildung 2 zeigt einen vereinfachten schematischen Aufbau des Messsystems mit den wichtigsten Komponenten.

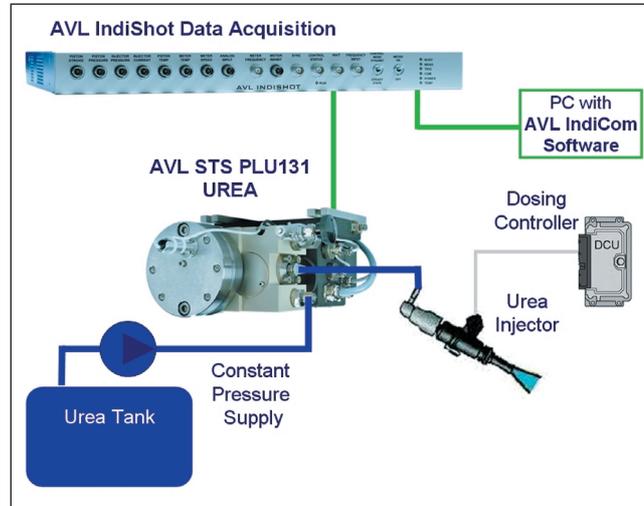


Abbildung 2:
Schematischer Aufbau des Shot To Shot™ PLU131 Durchflussmesssystems
Figure 2:
Schematic setup of the Shot To Shot™ PLU131 Flow Measurement System

tion of a highly dynamic piston sensor with an extremely robust servo-driven gear counter provides precise injection rates as well as extremely accurate shot quantities. In addition the PLU dual sensor measuring principle allows for a unique flexibility in hydraulic configuration. STS sensors can be used on the high pressure supply side of the injector (upstream) as well as on the low pressure side (downstream) behind the injector.

The AVL Shot To Shot™ PLU 131 is the only shot measurement system which provides for a precise measurement of injection quantities on the inlet side of the injector even without any interference with the injection system. Figure 2 shows a simplified schematic setup of the measurement system with its main components.

2.2. Injektor-Charakterisierung in der Entwicklung und Produktion von SCR-Systemen

Die Überprüfung von Dosier-Kennlinien an Niederdruck-Einspritzsystemen erfolgt üblicherweise anhand einer stationären Schussmengenmessung über den gesamten Durchflussbereich des Injektors. Gemessen werden dabei einige repräsentative Messpunkte von der kleinsten bis zur größten Durchflussrate.

Abbildung 3 zeigt eine mit dem STS PLU131 gemessene Kennlinie mit hervorragender Übereinstimmung und Linearität der gemessenen Istwerte mit den Sollwerten.

Die Stabilität dieser Kenngröße innerhalb der Herstellertoleranzen ist wichtig um die fehlerfreie Funktion des SCR-Systemen über die Lebensdauer des Injektors zu gewährleisten. Die Überprüfung der Kennlinien von Injektoren wird daher über sehr lange Zeiträume wiederholt um Alterungseffekte zu festzustellen.

Insbesondere bei den kleinsten Durchflussraten von ca. 10g/h stellt die nötige Reproduzierbarkeit der Messung enorm hohe Anforderungen an Messunsicherheit und Langzeitstabilität des Messinstruments.

In der Serienproduktion wird die Verwendbarkeit eines Messsystems unter gegebenen Umgebungsbedingungen

2.2. Injector Characterization in Development and Production of SCR-Systems

Testing of injector dosing characteristics for low pressure injection systems typically includes steady-state measurements over the functional flow range of the injector. Injection quantity is measured at a set of representative measurement points between minimum and maximum flow rate.

Figure 3 shows an injector characteristic measured with STS PLU131. Measurement results are in extremely good coincidence with nominal values and intended linearity.

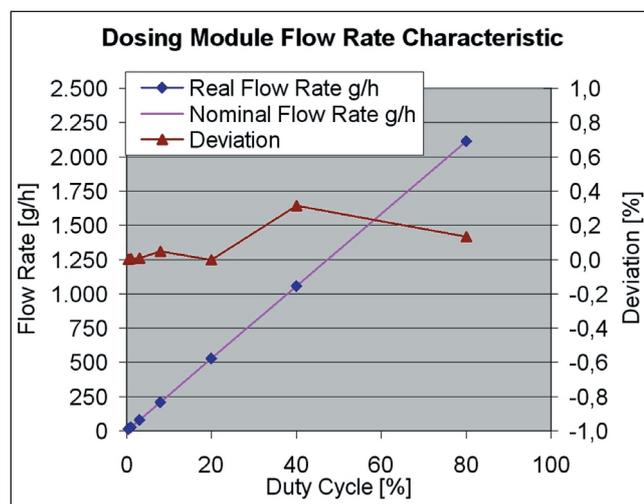


Abbildung 3:
Typische Injektorkennlinie mit Soll- und Istwerten der Durchflussrate und prozentualer Abweichung bei Öffnungszeiten zwischen 0,5% und 80% mit 1Hz bzw. 4Hz Einspritzfrequenz
Figure 3:
Typical injector characteristic with nominal and actual flow rate and relative deviation at duty cycles between 0.5% and 80% with 1Hz or 4Hz injection frequency.

Stability of these injector characteristics within supplier tolerances is significant in order to guarantee efficient operation of the SCR system over the entire lifetime of the injector. Long-term testing of injector characteristics is therefore important to detect aging effects. Especially low flow rates down to 10g/h the required measurement reproducibility demands an extremely low measurement uncertainty and high long-term stability from the measurement instrument.

In series production the compliance of a measurement system typically is evaluated with a "measurement capability test" for each individual characteristic measurement point with its individual tolerance.



für die Überprüfung bestimmter Messwerte innerhalb festgelegter Toleranzen üblicherweise über Messmittelfähigkeitsuntersuchungen nachgewiesen. Die Ergebnisse einer typischen Anwenderanalyse sind in [1] zu finden. Das AVL Shot To Shot™ PLU131 Durchflussmesssystem liefert für diese Aufgabe sowohl im Labor als auch unter Produktionsbedingungen optimale Resultate.

3. Dynamische Verbrauchsmessung in der Applikation

Die wesentlichen Aufgabenstellungen der Harnstoffverbrauchs-messung bei der Applikation von SCR-Systemen an Dieselmotoren sind:

1. Stationäre Charakterisierung des Dosiersystems.
2. Verifikation der Messkette über den Vergleich der gemessenen Harnstoffdosierung gegenüber der Berechnung aus den Messwerten von NOx, NH3, Luftmasse, Kraftstoffmasse und Abgasmasse.
3. Dynamische Verifikation des Dosiersystems und des Dosiermodells.

Im Unterschied zu den Messanforderungen im Labor oder in der Produktion, wo nur stationäre Messungen benötigt werden, ist eine der wesentlichen Aufgaben bei der Applikation eines SCR-Systems die dynamische Messung des Harnstoffverbrauchs.

3.1. AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmesssystem

AVL PLUrea™ wurde für die speziellen Anforderungen bei der Applikation von SCR-Systemen an Dieselmotoren entwickelt. Hauptaufgabe ist der Einsatz bei der Kalibrierung des Steuergeräts, d.h. die Einstellung der Harnstoff-Dosiermengen über das gesamte Motor-Kennfeld (Last/Drehzahl) und bei deren Überprüfung in Emissionszyklen.

Dabei geht um extrem dynamische Verbrauchsmessungen und die genaue Korrelation zwischen Soll- und Istwerten der Harnstoffeinspritzmengen während Testzyklen. Neben der reinen Messtechnik wurde vor Allem auf die schnelle Herstellung der erforderlichen Systembedingungen und eine einfache Bedienung Wert gelegt. Abbildung 4 zeigt einen vereinfachten schematischen Aufbau des AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmesssystems mit automatischem Entlüftungssystem und Schutz gegen Entleerung bei der automatischen Rücksaugung bei Abschalten des SCR-Systems.

Kleinste Durchflussmengen und hohe Durchflussdynamik erfordern auch hier eine Messposition in direkter Nähe des Injektors, um den Temperatureinfluss auf die Ergebnisse zu minimieren. Die Mobilität von PLUrea™ und die Höhenverstellung des Sensors ermöglichen

range. Results of a representative customer investigation are available in [1]. The AVL Shot To Shot™ PLU131 Flow Measurement System provides outstanding results for this task under laboratory conditions as well as in production.

3. Dynamic Consumption Measurement in SCR-Application

Primary tasks of urea consumption measurement within the application of SCR systems to Diesel engines are:

1. Stationary characterization of the dosing system.
2. Verification of the measurement chain via comparison of the measured urea dosing quantity with the calculated value derived from measurement data on NOx, NH3, air intake mass, fuel mass and exhaust mass.
3. Dynamic validation of dosing system and dosing model.

In contrast to the demands in the lab or in production, where steady-state measurements are sufficient, dynamic urea flow measurement capability is an important requirement in SCR system application.

3.1. AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement System

AVL PLUrea™ has been developed for the specific requirements of SCR injection system applications in exhaust after treatment on Diesel engines.

Main tasks are to support urea dosing calibration of the control unit over the entire load/speed engine map and its test in transient emission cycle operation. Continuous consumption measurement focuses on the exact correlation between nominal and real injection quantities during the test cycles. Apart from measurement technology a second focus has been a quick setup and simple handling. Figure 4 shows a simplified schematic setup of AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement System including an automatic air-purge system for reliable bubble-free urea dosing and urea

measurement and protection against drainage in shut-down situations when the SCR-system is automatically drained by its ECU.

Lowest flow quantities and highest flow dynamics require a flow sensor position in direct vicinity of the injector also on the engine test bed in order to minimize temperature influence on the measurement results. Mobility of the PLUrea™ cart and the height adjustment of the sensor enable quick setup with an optimized adap-

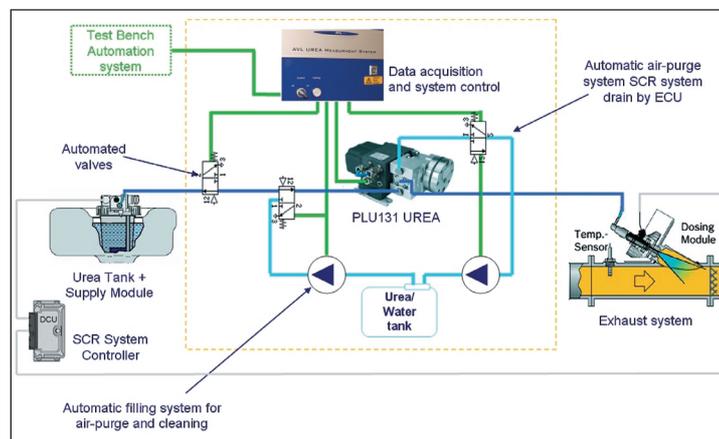


Abbildung 4:
Schematischer Aufbau des AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmesssystems
Figure 4:
Schematic setup of the AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement System



eine schnelle, optimale Adaption an unterschiedlichen Prüfstandskonfigurationen. Abbildung 5 zeigt das System von der Frontseite.

Auch die Robustheit des PLU-Sensors gegenüber den Druckpulsationen der Einspritzung ist wieder eine wichtige Voraussetzung. Die automatische Entlüftung des Verbrauchsmesssystems ist jedoch der wichtigste Nutzen der Systemlösung gegenüber einer einfachen Sensorintegration. Sie sorgt für die blasenfreie Eindosierung und Messung der Harnstofflösung.

Abbildung 6 zeigt die dynamische Verbrauchsmessung der Harnstoff-Eindosierung während eines transienten ETC-Testzyklus.

4. Relevanz in der SCR-Applikation

Das AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmesssystem kann genutzt werden um die Messkette am Motorprüfstand auf mögliche Fehlerquellen hin zu überprüfen. Hierbei wird in einem stationären Betriebspunkt aus den Messgrößen der Gaskonzentration und des Abgasmassenstroms die AdBlue®-Dosiermenge berechnet (Formel 1).

Zur Ermittlung der relevanten Gaskonzentrationen werden mit einem FTIR Messsystem Messungen vor und hinter dem SCR-Katalysator durchgeführt. Dabei wird angenommen, dass die dosierte Harnstofflösung hinter dem SCR-Katalysator bereits vollständig in NH₃ und HNCO umgewandelt wurde oder bereits mit NO_x reagiert hat. Der berechnete AdBlue® Massenstrom wird mit dem mit PLUrea™ gemessenen Massenstrom verglichen.

Abweichungen weisen dabei auf eine Undichtigkeit in der Ansaug- oder Abgasstrecke hin oder auf eine fehlerhafte Abgasanalytik oder Probenentnahme.

Abbildung 7 zeigt den Vergleich der AdBlue®-Dosiermenge einmal mit AVL PLUrea™ gemessen und einmal durch eine Berechnung nach Formel 1 aus der Gaskonzentration und des Abgasmassenstroms ermittelt. In Anbetracht der zahlreichen am Vergleich beteiligten Messgeräten ist die Übereinstimmung sehr gut.



Abbildung 5:
AVL PLUrea™
Figure 5:
AVL PLUrea™

tion in different test bed configurations. Figure 5 shows the system from the front side.

The PLU-Sensor robustness against pressure pulsations is an important feature in this application as well. However, automatic air purge has proven to be the most valuable system benefit of the consumption measurement system compared to simple sensor integration. It provides reliable bubble-free urea dosing and urea flow measurement

Figure 6 shows dynamic consumption measurement of urea dosing during a transient ETC test cycle.

4. Relevanz in SCR-Applikation

Another major benefit of the AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement System is to enable consistency checks for the emission measurement chain and early detection of possible measurement error sources. Measured parameters of the gas concentration and exhaust gas mass are used to calculate the AdBlue dosing quantity (formula 1).

The calculation is based on FTIR measurement of the relevant gas concentration in front of the SCR catalyst and behind it. For the injected urea solution a complete conversion into NH₃ and HNCO or even reaction with NO_x is assumed. Calculated urea mass flow is then compared with the PLUrea™ flow measurement.

Deviations can be due to leakages in the air intake or exhaust piping, due to errors in the exhaust gas analysis or due to incorrect sampling.

Figure 7 shows a comparison of AdBlue® dosing quantity results measured with AVL PLUrea™ and calculated from gas concentrations and exhaust mass according to formula 1. Considering the number of measurement

instruments involved in the comparison the resulting coincidence of data is excellent.

A test of the dynamic measurement capability of the PLUrea' system shows figure 8 with a WHTC cycle performed on the same engine.

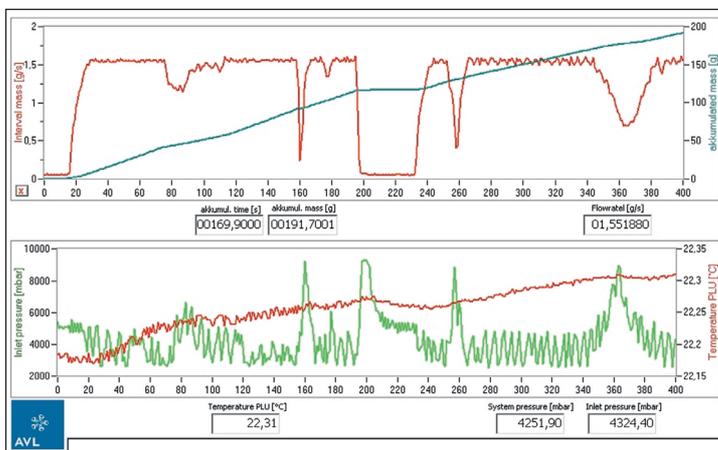


Abbildung 6:
AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmessung: AdBlue®-Durchflussrate, akkumulierte Durchflussmenge (oben), Druck und Temperatur (unten); Ausschnitt aus europäischen Testzyklus (ETC-Zyklus) bei 4Hz-Taktfrequenz.
Figure 6:
AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement: AdBlue® flow rate, accumulated mass (top), pressure and temperature (bottom); section from a european test cycle (ETC cycle) at 4Hz dosing frequency.

$$\frac{(conc_{NO_x_SCRin} - conc_{NO_x_SCRout} + conc_{NH_3_SCRout} + conc_{HNCO_SCRout}) \times M_{Urea}}{2 \times M_{Exhaust} \times 32,5\% \times md(t)_{Exhaust}}$$

M_{Urea} : molar mass urea
M_{Exhaust}: average molar mass exhaust gas
md(t)_{Exhaust} : exhaust gas mass flow

Formel 1:
Berechnung der Harnstoff-Dosiermasse
Formula 1:
Calculation of urea solution dosing mass



Eine Überprüfung der dynamischen Messfähigkeit des PLUrea™ Messsystems zeigt **Abbildung 8** mit einem am selben Motor durchgeführten WHTC-Zyklus.

Das AdBlue®-Dosiersystem wurde vom Abgasstrang demontiert und die dosierte Harnstofflösung in einen geschlossenen Behälter aufgefangen. Das mit einer Waage ermittelte Zyklusgesamtergebnis stimmt mit 1,2% Abweichung im Rahmen der mit einer Waagenmessung am Motorprüfstand erzielbaren Messgenauigkeit gut überein.

Der folgende Entwicklungsschritt ist die Validierung von Simulationsmodellen anhand der dynamischen Zyklusmessungen. Als Eingangsgröße in das Modell wird dabei die gemessene Harnstoffmenge (PLUrea) genutzt. Die Ergebnisse sollen zur weiteren Optimierung der NOx-Reduktion und des AdBlue®-Verbrauchs verwendet werden. Die entsprechenden Auswertungen lagen bei Drucklegung leider noch nicht vor.

5. Zusammenfassung

Bei der Entwicklung und Produktion von SCR-Einspritzsystemen spielt die präzise Charakterisierung der Injektoren eine zentrale Rolle. Die geringen Durchflussraten erfordern stabile Umgebungsbedingungen und eine direkte Anbindung eines geeigneten Sensors and den Injektor.

Die wesentlichen Vorteile der Schussmengenmessung mittels AVL Shot To Shot™ PLU131 für die SCR-Injektor-Charakterisierung sind:

- Verwendung auf der Hochdruckseite des Injektors (Upstream) bei vernachlässigbarer Systembeeinflussung.
- Höchste Messgenauigkeit über einen weiten Messbereich (1:1000)
- Kurze Messzeit (50 Einspritzungen) über den gesamten Bereich der Betriebsparameter

Hauptaufgabe der Systemapplikation ist die präzise Kalibrierung der Harnstoffdosierung um die maximale NOx-Konversionsrate zu erreichen ohne dabei durch Überdosierung Ammoniak auszustoßen. Bei der Kontrolle der Harnstoffdosierung ist die dynamische Messung der äußerst geringen Durchflussmengen bei transienten Verbrauch während der Testzyklen eine große Herausforderung.

Die genaue Korrelation zwischen Soll- und Istwerten der Harnstoffeinspritzmengen verkürzt dabei drastisch die Problemanalyse bei der Entwicklung der Dosierstrategien.

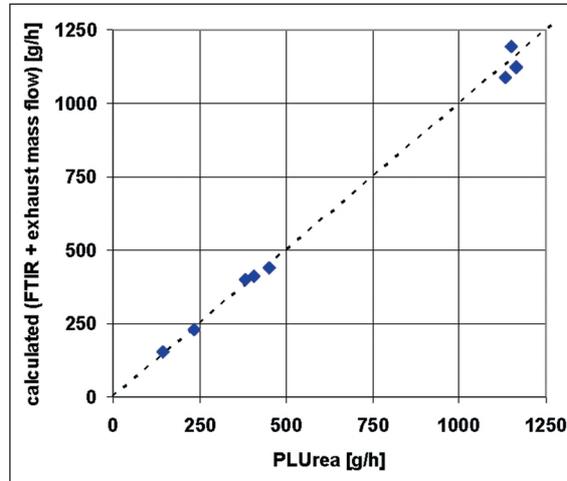


Abbildung 7:
Vergleich der berechneten und der gemessenen Harnstofflösung
Formula 1:
Calculation of urea solution dosing mass

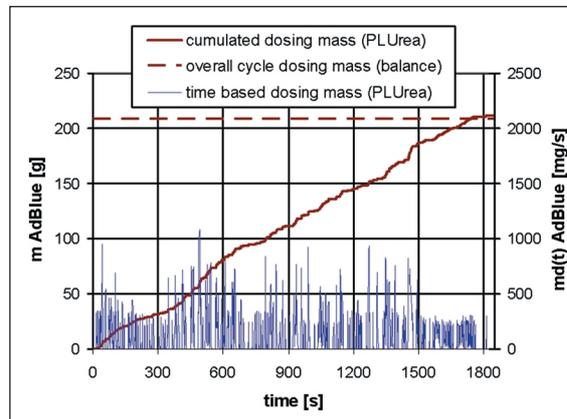


Abbildung 8:
Vergleich der kumulierten Dosiermenge über eine WHTC-Zyklus
zwischen der dynamischen PLUrea™ Messung und der
gravimetrischen Messung durch eine Waage.
Figure 8:
Comparison of cumulated urea dosing quantity over a WHTC cycle
between dynamic PLUrea™ measurement and gravimetric
measurement via outlet balance.

The AdBlue® dosing system had been disconnected from the exhaust system and dosed urea quantity had been collected in a closed container. Total urea consumption over the entire cycle deviates from the PLUrea measurement by 1.2%, which coincides well within the expected accuracy with such a balance setup on an engine test bed.

The subsequent development step is a validation of the simulation model using dynamic urea measurement in test cycles. Measured urea quantity data (PLUrea™) are used as an input for the model in this case. The results are used for a further optimization of NOx reduction and AdBlue® consumption. Corresponding data were not yet available at printing date.

5. Summary

Injector characterization plays a central role during development and production of SCR injection systems. Low flow rates require stable environmental conditions and a direct connection of an appropriate sensor to the injector. Significant advantages of a shot measurement for SCR injector characterisation with AVL Shot To

Shot™ PLU131 are:

- Measurement on the high pressure side of the injector (up-stream) with negligible interference with the SCR system
- Highest accuracy over an extremely wide flow range (1:1000)
- Short measurement time (50 injections) over the entire operation range

Primary task in SCR system application is a precise calibration of urea dosing aimed at a maximum NOx conversion rate while avoiding ammonia slip due to overdosing.

The biggest challenge upon checking urea dosing is dynamic measurement of the extremely low urea flow quantity during transient test cycles.

Exact correlation between nominal and real injection quantity shortens problem analysis during dosing strategy development drastically.



Die kontinuierliche Verbrauchsmessung der eingespritzten Harnstofflösung unterstützt die direkte Massenbilanzierung bei der Modellverifikation sowie die Funktionsüberwachung des Einspritzsystems.

Das AVL PLUrea™ Harnstoff-Verbrauchsmesssystem ermöglicht die präzise, hochdynamische Messungen des transienten Verbrauchs während Emissions-Testzyklen (ETC, FTP) am Motor- oder Rollenprüfstand. Die wesentlichen Vorteile sind:

- Effiziente Entwicklung von SCR-Dosierstrategien durch dynamische Korrelation
- Optimierte Systemlösung für die speziellen Anforderungen beim Betrieb von Harnstoff-Dosiersystemen
- Schnelle Erkennung von Dosierabweichungen oder Fehlfunktionen und Zuordnung zu bestimmten Betriebszuständen bzw. Ursachen
- Schnelle Prüfstandsintegration, flexible Verwendung und komfortable, unabhängige Funktion

6. Danksagung

Die zugrunde liegenden Prüfstandsversuche wurden des staatlich geförderten Projekts „K2 Mobility B01/T01“ an einem Nutzfahrzeugmotor durchgeführt.

7. Literatur / References

- [1] Dr. Heribert Kammerstetter, Manfred Werner, Reinhard Doell, Gertjan Kanters
The Challenge of Precise Characterizing the Specific Large-Span Flows in Urea Dosing Systems for NOx Reduction
SAE 08PFL-918
In: SAE World Congress, 14.-17. April 2008, Detroit
- [2] Dr. Ronald Henzinger, Dr. Heribert Kammerstetter, Dr. Friedrich B. Radke, Manfred Werner
New Measurement Technology for Direct Injection Systems of Diesel and Gasoline Engines
MTZ_67_2006_Vol_7-8

Continuous consumption measurement of the injected urea solution supports direct mass balance in dosing model verification and it facilitates monitoring of the injection system operation.

The AVL PLUrea™ Urea Consumption Measurement System is uniquely capable of highly dynamic flow rate measurement during transient emission test cycles (e.g. ETC, FTP) on engine or chassis dyno test bed. Important benefits are:

- *Efficient dosing strategy development due to dynamic correlation*
- *Optimized system solution for SCR-specific operational conditions*
- *Fast detection of dosing deviations or SCR system malfunction and exact identification of corresponding operational conditions*
- *Fast test bed integration, flexible use and comfortable standalone functionality*

6. Acknowledgement

Shown results from engine test bed data were collected with a heavy duty engine within the federal funded project "K2 Mobility B01/T01".

