

Christof Gietzelt, Ottmar Degrell und Karsten Mathies

# In-use-Emissionsmessungen an Motoren von mobilen Maschinen

Mit der Einführung von In-use-Messungen im europäischen und amerikanischen Markt werden Motorenhersteller für mobile Maschinen auch für die Emissionen bei realen Arbeitsanwendungen über das sogenannte „useful life“ zur Verantwortung gezogen. Für den TÜV Hessen ist das Grund genug, einen PEMS-Prozess zu entwickeln und anzubieten.

## Schlüsselwörter

In-use-Emissionsmessungen, PEMS (portable emission measurement system), NRMM (nonroad mobile machinery), US EPA Tier 4, EU Stufe 4

## Keywords

In-use emission measurement, PEMS (portable emission measurement system), NRMM (nonroad mobile machinery), US EPA Tier 4, EU Stage 4

## Abstract

Gietzelt, Christof; Degrell, Ottmar and Mathies, Karsten

In-use emission measurements on combustion engines used in mobile machinery

Landtechnik 67 (2012), no. 5, pp. 366–369, 5 figures, 1 table, 4 references

With the introduction of the in-use measurement in the European and American market engine manufacturers for nonroad mobile machinery (NRMM) are responsible for the emissions from their engines about “useful life” and “in-use”. Here TÜV Hessen sees a strong justification for the development and offer of a PEMS process for in-use measurement, to render the necessary certificates.

■ Ende des Jahres 2012 wird die Verabschiedung der Emissionsrichtlinie für NRMM (nonroad mobile machinery) bei der europäischen Kommission in Brüssel erwartet, die in 2014 rechtsverbindlich wird und die sogenannten PEMS-Messungen (portable emission measurement system) umfassen soll. Die Emissionsnachweise müssen während des Einsatzes der Maschinen unter realen Arbeitsbedingungen durchgeführt wer-

den. Die Richtlinie wird dies als „in-service-conformity“ (ISC) berücksichtigen und soll möglichst 2016 in Kraft treten, beginnend mit den gasförmigen Emissionen [1]. Im US-amerikanischen Raum werden bereits mit US EPA Tier 4i (2011) und Tier 4 (2014) Emissionsnachweise „in-use-compliance“ (IUC) für NRMM eingefordert.

Der hohe Grad an Diversifizierung bei mobilen Maschinen, deren Arbeitsanwendungen und somit deren Motor-Drehmoment-Drehzahlprofile (Lastkollektiv) bedingt, dass kein typisches Lastkollektiv im Bereich NRMM vorliegt und somit keine Standardemissionen erwartet werden können. Um weiterführende Erkenntnisse hinsichtlich verschiedener Lastkollektive und Emissionen zu erhalten, führte der TÜV Hessen im Rahmen des NRMM-EU-Pilotprojekts PEMS ein Gemeinschaftsprojekt mit den Firmen AVL Deutschland GmbH, DEUTZ AG und FENDT/AGCO GmbH durch. Die Ergebnisse werden in Brüssel vorgestellt und der europäischen Kommission zur Verfügung gestellt.

## Projekt

Im Vordergrund des Projekts standen die Applikation der Messtechnik an eine mobile Maschine und die Durchführung von realen, unterschiedlichen Agraranwendungen, um verschiedene Lastkollektive mit stationärem oder transientem Motorverhalten zu untersuchen. Auch Teillast- und Vollastzustände hinsichtlich Emissionen wurden ausgewertet. Im Vergleich zur EURO 6 für Nutzfahrzeuge stellen vor allem die Applikation der Messtechnik an die verschiedenen Maschinen sowie die gesamte Logistik der Maschinen auf dem Feld eine Herausforderung dar. Die möglichst flexible Adaption der Messtechnik stand bei der Konstruktion eines variablen Aufnahmeadapters im Vordergrund. Es wurde die mobile Emissionsmesstechnik AVL M.O.V.E PEMS verwendet (AVL GAS PEMS 493, AVL PM PEMS 494, SEMTECH EFM 4“ Abgasmassenstromsensor inkl. beheizter Abgasleitung (5 m), sowie AVL M.O.V.E System Control inkl. CAN-Anbindung „Motor & Fahrzeug“ und Spannungsversorgung, GPS-Erfassung, Feuchte-, Druck- und Temperaturerfassung). Die gesamte Datenerfassung erfolgte als AVL i-File und wurde mit AVL CONCERTO

Abb. 1



Applikation von PEMS (Foto: Mathies)  
Fig. 1: Application of PEMS

ausgewertet. Das eingesetzte Fahrzeug war ein Schlepper der FENDT/AGCO GmbH vom Typ 720 Vario (7,9 t) mit dem Motor Deutz TCD 6.1 L6 (ca. 150 kW), SCR. Die mobile Messtechnik wurde in „heavy-duty-cases“ platziert, um Vibrationen, Erschütterungen und Verschmutzungen vorzubeugen. Die Spannungsversorgung erfolgte mittels eines 2-kW-Generators (230 V) sowie einem Zusatz-Batterieelement und ist somit vom Fahrzeug autark. Das Zusatz-Batterieelement in Kombination mit dem Generator stellte sicher, dass das Einschalten und Aufheizen der Messtechnik abgebildet werden kann (**Abbildung 1 und 2**).

### Emissionsmessungen bei realen Agraranwendungen

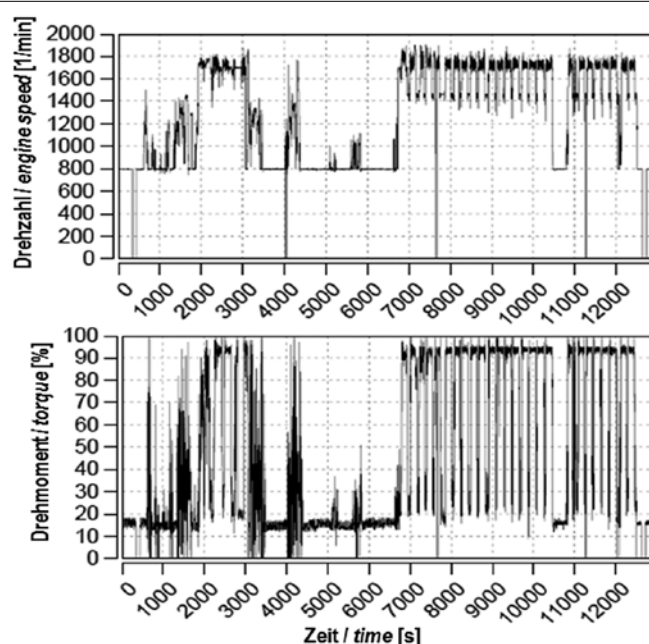
Für die EU werden im Rahmen des NRMM-Pilotprogramms die Anforderungen für In-use-Emissionsnachweise nach der Work-based-window-Methode (WBW) in Anlehnung an die Anforderungen für Nutzfahrzeuge EURO 6 definiert [2]. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen wie das Arbeitsfenster, der Durchschnittsleistung und des 90-Perzentil-Wertes des vorliegenden Entwurfs [1] wurden verschiedene reale Betriebsarten mehrstündig mit kontinuierlicher Emissionsmessung durchgeführt. Hierbei handelt es sich um einen Einsatz beim Mähen (~ 18 000 s), um einen Einsatz beim Pflügen (~ 13 000 s) und um eine Transportfahrt (~ 7 500 s). Beim Pflügen ist insbesondere im 2. Teil der Messung eine quasi-stationäre Belastung des Motors zu erkennen (**Abbildung 3**). Die durchschnittliche Auslastung in diesem Teil der Messung liegt bei ca. 90 % der maximalen Motorleistung (Mähen ~ 35 % und Transportfahrt ~ 60 % [3]). Die gesamte Messung beinhaltete das Einstellen des Pfluges, einen Wechsel des Pfluges, mehrere Stoppphasen zum Systemcheck sowie das Pflügen selbst.

Abb. 2



Applikation von PEMS am Fahrzeug Fendt 720 Vario  
(Foto: Mathies)  
Fig. 2: Application of PEMS on the vehicle (Fendt 720 Vario)

Abb. 3



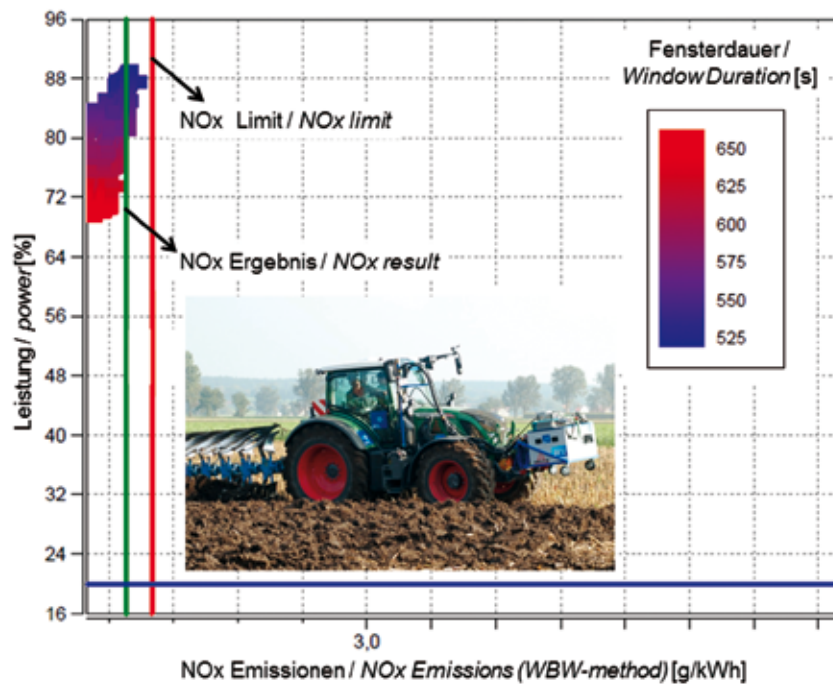
Lastkollektiv beim Pflügen  
Fig. 3: Load collective while plowing

**Auswertungen**

Die Arbeitsanwendungen wurden jeweils nach der US-amerikanischen NTE-Methode (not to exceed) und nach der europäischen WBW-Methode in Anlehnung an EURO 6 für Nutzfahrzeuge ausgewertet (WBW-Auswertung: EMROAD [4]). Die Auswertung wurde auf Basis der Emissionsgrenzwerte von US

EPA Tier4i durchgeführt bzw. EU Stufe 3b, da dies der Emissionszustand des Motors ist. Im Vergleich zur US-amerikanischen NTE-Methode wird bei der WBW-Methode das komplette Motorkennfeld bei der Emissionsauswertung berücksichtigt. Die Auswertung nach WBW-Methode wird anhand der NOx-Emissionen beim Pflügen vorgestellt (**Abbildung 4**), beginnend mit

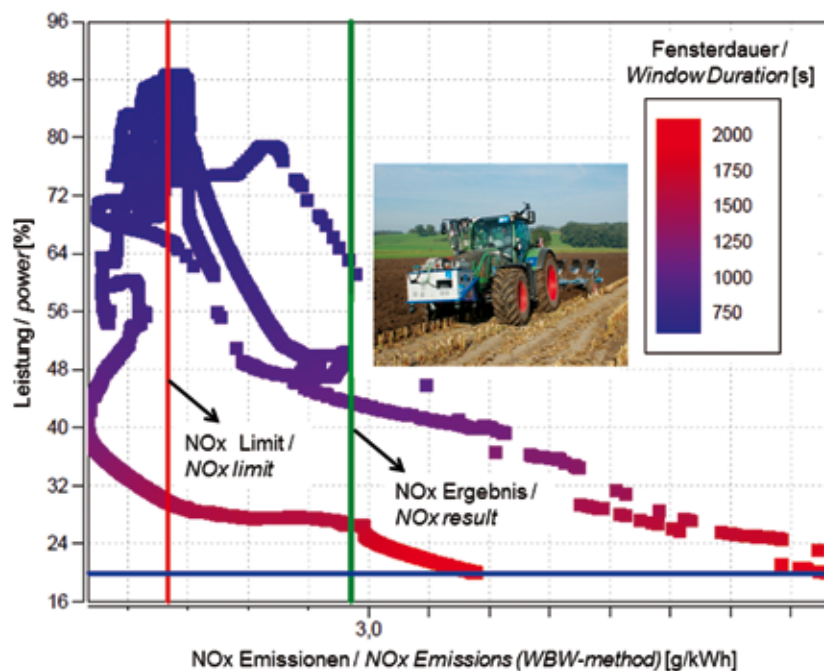
Abb. 4



Auswertung des Pflügens – Zeitausschnitt, WBW-Methode (Foto: Mathies)

Fig. 4: Evaluation of plowing – Period, WBW method

Abb. 5



Auswertung des Pflügens, WBW-Methode (Foto: Mathies)

Fig. 5: Evaluation of plowing, WBW method

Tab. 1

Ergebnisse der Messungen

Table 1: Measurement results

	PM	HC	NO <sub>x</sub>	CO
Arbeitsart/Kind of work				
Max. Konformitätsfaktor Limit conformity factor	2,0	2,0	2,0	2,0
Mähen/Mowing				
Konformitätsfaktor Conformity factor	1,18	0,05	0,98	0,030
Transport/Transportation				
Konformitätsfaktor Conformity factor	1,86	0,18	0,90	0,001
Pflügen/Plowing				
Konformitätsfaktor Conformity factor	0,72	0,09	1,46	0,061
Pflügen/Plowing (7 000-10 000 s)				
Konformitätsfaktor Conformity factor	1,90	0,05	0,94	0,006

dem Zeitabschnitt von 7 000 bis 10 500 s (siehe **Abbildung 3**). Die Abbildung zeigt alle gültigen Arbeitsfenster und ihre Messdauer sowie den NO<sub>x</sub>-Grenzwert. Deutlich zu erkennen ist, dass im ausgewerteten Zeitabschnitt des eigentlichen Pflügens die Hochlastphasen (Leistung: ~70 bis 90 %) dominieren, einhergehend mit entsprechend niedrigen NO<sub>x</sub>-Emissionen (neutralisierte Darstellung: x-Achse ausgeschnitten). Die Auswertung des gesamten Zeitfensters von 0 bis 13 000 s mit transientem Lastkollektiv sowie Halte- und Auskühlphasen, generiert höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen bei niedrigerer Auslastung (**Abbildung 5**). Der Vergleich zeigt, welche Expertise bei der Auswahl der Arbeitsanwendung sowie der Durchführung der In-use-Messung nötig ist. Die Auswertung nach der NTE-Methode erfolgte wie in [3] beschrieben.

**Tabelle 1** zeigt die mittleren „conformity factors“, welche als Verhältnis zwischen der In-use-Emission [g/kWh] und dem Grenzwert [g/kWh] aufgeführt sind. Für NRMM wird in der EU ein „limit conformity factor“ von 2 erwartet. Die Ergebnisse sind insofern unrelevant, als dass für Stufe IIIB noch keine In-use-Anforderungen vorliegen. Für die Entwicklung der NRMM-PEMS-Prozedur sind sie jedoch aufschlussreich und wertvoll.

### Schlussfolgerungen

Motorenhersteller für NRMM müssen im Raum von US EPA und EU zukünftig die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte unter Berücksichtigung des „conformity factors“ im „useful life“ nachweisen. Die starke Diversifizierung bei mobilen Maschinen erzwingt für die kommenden In-use-Messungen einen gesteigerten organisatorischen Aufwand, wobei Maschinenhersteller und Betreiber in diesen Prozess zu integrieren sind. Diese PEMS-Messungen bedingen ein hohes Maß an Verständnis von Richtlinien und Gesetzgebung, Motor, Abgasnachbehandlung, Lastkollektiv und resultierenden Emissionen, Logistik der Maschinen im Einsatz, Applikation sowie sicherer Handhabung der Messtechnik. Der TÜV Hessen verfügt über das nötige Wissen, um In-use-Messungen erfolgreich durchzuführen und bietet dieses auch entsprechend an.

gerten organisatorischen Aufwand, wobei Maschinenhersteller und Betreiber in diesen Prozess zu integrieren sind. Diese PEMS-Messungen bedingen ein hohes Maß an Verständnis von Richtlinien und Gesetzgebung, Motor, Abgasnachbehandlung, Lastkollektiv und resultierenden Emissionen, Logistik der Maschinen im Einsatz, Applikation sowie sicherer Handhabung der Messtechnik. Der TÜV Hessen verfügt über das nötige Wissen, um In-use-Messungen erfolgreich durchzuführen und bietet dieses auch entsprechend an.

### Literatur

- [1] Bonnel, P. (2011): European Commission; DG Enterprise and Industry; General Meeting on Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) Pilot Program for the development of a NRMM test protocol; Presentation; Bruxelles
- [2] Regulation (EC) No. 582/2011: Emissions from heavy duty vehicles [Euro 6]
- [3] Gietzelt, C.; Knuth, H.-W.; Heinle, H. (2012): Mobile „in-use“ Emissionsmessung bei realen Agraranwendungen, ein Beitrag zum EU-PEMS Pilotprojekt für mobile Maschinen; AVL Partikelforum, S. 71–80
- [4] EMROAD ©; Version 5.1 – Build 9 (2012): Software Tool for evaluation of PEMS measurement data; European Commission; DG JRC Institute for Environment and Sustainability; Transport and Air Quality Unit; Ispra; Italy

### Autoren

**Dr.-Ing. Christof Gietzelt** ist Geschäftsfeldleiter Projekte und Vertrieb, **Dipl.-Ing. Ottmar Degrell** ist Bereichsleiter und **Dipl.-Ing. Karsten Mathies** ist Projektingenieur bei TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH Automotive, Werner-von-Siemens-Straße 35, 64319 Pfungstadt, E-Mail: christof.gietzelt@tuevhessen.de

### Danksagung

TÜV Hessen bedankt sich ausdrücklich bei seinen Projektpartnern, der DEUTZ AG, der FENDT/AGCO GmbH und der AVL Deutschland GmbH für die sehr gute und zielstrebige Kooperation in diesem sehr erfolgreichen Gemeinschaftsprojekt.