

Yves Reckleben, Sascha Trefflich und Hermann Thomsen

Auswirkung der Abgasnormen auf den Kraftstoffverbrauch von Traktoren im praktischen Einsatz

Der Markt für Traktoren – in Deutschland werden jährlich mehr als 28 000 Traktoren neu zugelassen – wird durch die EU-Abgasgesetzgebung beeinflusst. Seit dem 1. Januar 2011 müssen Traktoren und mobile Arbeitsmaschinen ab einer Leistungsstärke von mehr als 130 kW die Abgasnorm Stufe III B erfüllen. Ab dem 1. Januar 2014 gilt für diese Leistungsklasse die Stufe IV, die noch einmal weitere Schadstoffreduktionen mit sich bringt. Um die Grenzwerte einzuhalten, sind Systeme zur Abgasnachbehandlung erforderlich, die einen erheblichen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und die Leistung eines Motors haben. Die Auswirkung der Abgasnachbehandlung auf den Kraftstoffverbrauch soll im Folgenden an zwei baugleichen Traktoren eines Herstellers mit unterschiedlichen Abgassystemen untersucht und im praktischen Einsatz verglichen werden. Die gemessenen Unterschiede im Versuch ergeben einen rund 7 % geringeren Kraftstoffverbrauch durch eine intensivere Abgasnachbehandlung.

Schlüsselwörter

Abgasnormen, Stufe III A und III B, SCR, Abgasrückführung AGR, Wirtschaftlichkeit

Keywords

Emission standards, stage III A and III B, SCR, exhaust gas recirculation EGR, economy

Abstract

Reckleben, Yves; Trefflich, Sascha and Thomsen, Hermann

Impact of emission standards on fuel consumption of tractors in practical use

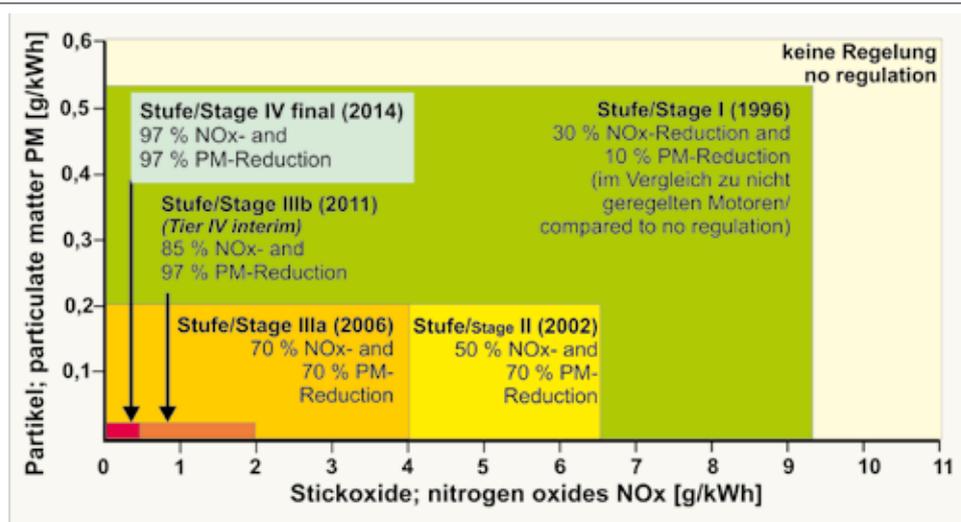
Landtechnik 68(5), 2013, pp. 322–326, 4 figures, 2 tables, 6 references

The market for tractors – in Germany more than 28,000 new tractors are registered annually – is influenced by EU exhaust emissions legislation. Since January 1, 2011 all tractors and other mobile working machinery of 130 kW power rating upwards have had to comply with the require-

ments of EU exhaust emission standard stage III B. As from January 1, 2014 a new standard, EU stage IV, will apply to this power class, requiring still more emission reductions. In order to comply with these new thresholds, exhaust emission aftertreatment systems that have a significant influence on an engine's fuel consumption and power output will have to be applied. In the following study the effect of the required exhaust emission aftertreatment on fuel consumption was investigated and compared during practical operations using two identical models of the same tractor make with different exhaust treatment systems. The differences recorded during this trial showed that fuel consumption was reduced by around 7 % through intensive exhaust emission aftertreatment.

■ Die Umwandlung/Verbrennung von Kraftstoff in Bewegungsenergie hat zur Folge, dass bei jedem Verbrennungszyklus Schadstoffe mit dem Abgas ausgestoßen werden. Die wesentlichen Schadstoffe sind Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC), Stickoxid (NO_x) und Partikel (PM). Um die Schadstoffemissionen zu senken, ist neben der elektronischen Einspritzmengensteuerung die Regelung der Verbrennungstemperatur entscheidend. Je höher diese ist, desto geringer sind die Partikelfrachten im Abgas, allerdings steigen dann die Stickoxidanteile.

Abb. 1



Abgasstufen für die problematischen Abgasbestandteile (Stickoxide und Partikel) bei Traktoren und mobilen Arbeitsmaschinen in der Leistungsklasse 130–560 kW [1]

Fig. 1: Emissions stages for the problematic exhaust gas components (nitrogen oxides and particulate matter) in tractors and mobile working machines in agriculture for engines with 130–560 kW [1]

Abb. 2



Case CVX 225 Puma während der Leistungsmessung an der Zapfwellenbremse (Foto: Trefflich)

Fig. 2: Case Puma CVX 225 during power measurement at the PTO shaft

Abb. 3



Kurzscheibenegge Kverneland Qualidisc 5000 im Feldversuch (Foto: Trefflich)

Fig. 3: Disc harrow Kverneland Qualidisc 5000 on field trial

Die europäische Abgasgesetzgebung ist in Stufen von I bis IV unterteilt, die der US-amerikanischen Abgasgesetzgebung mit TIER I bis IV entspricht. Die bisherigen Grenzwerte (**Abbildung 1**) in den Stufen I bis III A konnten durch technische Maßnahmen am Motor erreicht werden. Neben der verbesserten Verbrennung durch die elektronische Motorsteuerung und eine gekühlte Abgasrückführung war der bedeutendste Eingriff zur Reduzierung der Kohlenwasserstoff-, Stickoxid- und Partikelemissionen die Kraftstoff-Direkteinspritzung.

Die in den Abgasstufen III B und IV erforderliche drastische Reduzierung von Partikel- und Stickoxidemissionen kann nur durch eine zusätzliche Abgasnachbehandlung erreicht werden. Mögliche technische Lösungen sind die Abgasrückführung mit zusätzlichem Partikelfilter, NO_x-Adsorptionssysteme und selektive Katalysatoren wie Selective-Catalytic-Reduction, auch als SCR-Technik bezeichnet.

Eine technische Lösung besteht darin, die Motoreinstellungen zu verändern. Um die strenge Stufe III B der Abgasnormen einzuhalten, wird ein Diesel-Oxidationskatalysator (DOC) zusammen mit einem Dieselpartikelfilter (DPF) verwendet. Der zurückgeführte Anteil des Abgases wird gekühlt und der Frischluft des Verbrennungsmotors zugemischt. Der dadurch reduzierte Sauerstoffgehalt verlangsamt die Verbrennungsgeschwindigkeit und verringert die Spitzentemperaturen im Motor. Dadurch entsteht weniger NO_x, es werden jedoch mehr Rußpartikel produziert. Der Dieselpartikelfilter muss spätestens nach 25 h regeneriert werden. Dazu wird eine geringe Menge Kraftstoff in den Filter eingespritzt (< 1%), um die Partikel im DPF zu verbrennen.

Bei den SCR-Systemen werden nach dem DOC Stickoxide durch den Zusatz von wässrigen Ammoniak-Lösungen reduziert. Diese auch als AdBlue-Systeme bezeichneten Abgasnachbehandlungen erfordern einen zusätzlichen Tank für die Harn-

Tab. 1

Technische Daten der im Versuch eingesetzten Traktoren
 Table 1: Technical data of the tractors used in the test

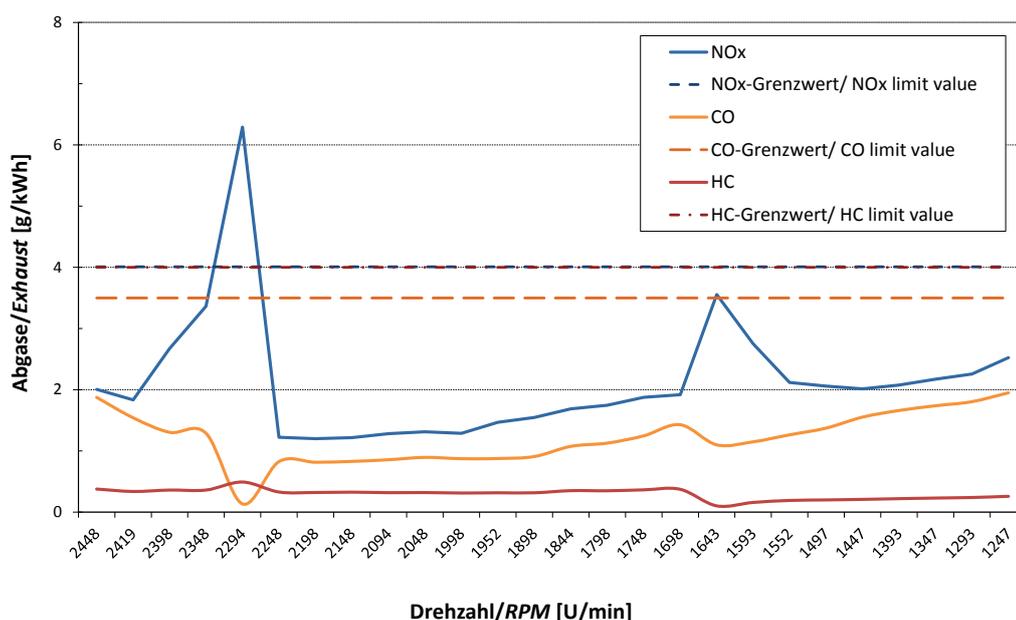
Modell	Case CVX 225 Puma	Case CVX 230 Puma
Nennleistung/ <i>Nominal power</i> [kW/PS] ¹⁾	165/224 nach ECE R120	167/228 nach ECE R120
Höchstleistung/ <i>Maximum power</i> [kW/PS] ¹⁾	169/230 nach ECE R120	183/249 nach ECE R120
bei Drehzahl/ <i>RPM</i> [U/min] ¹⁾	1 800	1 800
Leermasse/ <i>Empty weight</i> [kg] ¹⁾	7 200	7 400
Max. Drehmoment/ <i>Peak torque</i> [Nm/U/min] ¹⁾	950/1 400	1089/1 500
Drehmomentanstieg/ <i>Torque rise</i> [%] ¹⁾	32	45
Getriebe/ <i>Gear box</i> ¹⁾	stufenlos/ <i>continuously</i>	stufenlos/ <i>continuously</i>
Abgastechnik/ <i>Exhaust technology</i> ¹⁾	Gekühlte Abgasrückführung mit Partikelfilter (DPF) <i>cooled exhaust gas recirculation with particulate filter (DPF)</i>	SCR
Abgasstufe/ <i>Exhaust stage</i> ¹⁾	III A	III B

¹⁾ Herstellerangaben.

stofflösung. Der Mehraufwand an AdBlue ist leistungsabhängig und wird von der Motorbelastung beeinflusst. Bei eigenen Messungen wurden in der Praxis 2 bis 7 % der Kraftstoffmenge gemessen [2]. Dafür kann der Motor besser eingestellt werden und so bei gleichem Kraftstoffaufwand eine höhere Motorleistung von bis zu 10 % erreicht werden. Der Preis für die AdBlue-Lösung ist abhängig von der Gebindegröße und liegt derzeit bei den für die Landwirtschaft üblichen Abnahmemengen von

0,4 bis 0,7 € je Liter. Sollte der Zusatztank einmal leer sein, so wird der Motor elektronisch auf eine Leistung von ca. 60 % abgeregelt. Die wässrige Harnstofflösung darf nicht gefrieren, was besonders bei der hofeigenen Lagerung zu beachten ist. Auf dem Schlepper ist der Zusatztank durch die Motorwärme oder gesonderte Heizungen frostfrei zu halten, da die Lösung bei minus 10 °C gelförmig wird und bei etwa minus 18 °C gefriert. Gefrorene Harnstofflösungen müssen beim Kaltstart erst

Abb. 4



Gemessene NO_x, CO- und HC-Abgaswerte des CVX 225 im Praxisprüfstand sowie die einzuhaltenden Grenzwerte der Stufe III A im Vergleich
 Fig. 4: Measured NO_x, CO and HC emissions in the CVX 225 in the practice test and the limit values of stage III A in comparison

„aufgetaut“ werden, was ebenfalls zu einer Abregelung der Motorleistung auf ca. 60% führt.

Material und Methoden

Bei dem Versuch wurden zwei Case-IH-Traktoren mit den Bezeichnungen CVX 225 Puma und CVX 230 Puma eingesetzt (**Tabelle 1**). Hierbei handelt es sich um zwei – bis auf die Abgastechnik – baugleiche Traktoren. Zum Einsatz kamen 6,7 Liter Turbodieselmotoren mit Ladeluftkühler und Vierventiltechnik von FPT Industrial sowie stufenlose Getriebe.

Der CVX 225 Puma ist mit Abgasrückführung und Partikelfilter ausgestattet und erfüllt die Kriterien der Stufe III A. Der CVX 230 Puma ist mit der SCR-Technologie ausgerüstet und erfüllt die Abgasstufe III B.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurden für den Versuch verschiedene Methoden angewendet. Zunächst kamen beide Traktoren in den Praxisprüfstand, indem mithilfe einer Wirbelstrombremse an der Zapfwelle die abgegebene Leistung gemessen wird [3]. Während die Traktoren im Praxisprüfstand vor der Wirbelstrombremse betrieben wurden, wurde mit weiterer Messtechnik das Abgas untersucht [4].

Die gemessenen Kennfelder (Motorleistung, Drehmoment, Drehzahl und Kraftstoffverbrauch) im Praxisprüfstand dokumentieren den Ist-Zustand der eingesetzten Traktoren. Anhand dieser Messungen kann für den Feldversuch gefolgert werden, dass durch die Abgasnachbehandlung mit AdBlue ein geringerer Kraftstoffverbrauch zu erwarten ist, bei geringeren Emissionen an Partikeln und Stickoxiden.

Im Anschluss an die Messung im Praxisprüfstand wurden beide Traktoren mit einer 5-m-Kurzscheibenegge auf dem Feld eingesetzt. Mithilfe eines Datenloggers wurden hierbei alle wichtigen Parameter (GPS-Position, Kraftstoff- und AdBlue-Verbrauch, Fahrgeschwindigkeit und Abgastemperatur) aufgezeichnet.

Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die im Praxisprüfstand gemessenen NO_x , HC- und CO-Abgaswerte für den CVX 225.

Die gemessenen Konzentrationen im Abgas in **Abbildung 4** zeigen, dass der CVX 225 innerhalb der in **Abbildung 1** dargestellten Grenzwerte für die Stufe III A bleibt. Die Überschreitung des Grenzwertes bei 2294 Umdrehungen liegt bereits oberhalb der Nenndrehzahl (2198 Umdrehungen pro Minute) und wird nur im Prüfstand erreicht, nicht in der Praxis. Die Ergebnisse von Prüfstandsmessungen müssten im Feld bei der Arbeit nachvollzogen werden. An solchen mobilen Abgasmesssystemen wird bereits gearbeitet [5].

Im Feldversuch wurden für den Kostenvergleich bei der Stoppelpflege weitere Daten wie Zugleistung, Flächenleistung und Verbrauch positionsbezogen erfasst und für die folgenden Betrachtungen im Geografischen Informationssystem zusammengefasst. In **Tabelle 2** sind der durchschnittliche AdBlue- und der Kraftstoffverbrauch beider Schlepper dargestellt.

Tab. 2

Durchschnittlicher AdBlue- und Kraftstoffverbrauch und Kostenermittlung auf Basis der Daten im Feldversuch

Table 2: Average AdBlue- and fuel consumption and cost calculation on the basis of data obtained in field trial

Modell	Case CVX 225 Puma	Case CVX 230 Puma
Diesel [l/h]	36,25	32,46
AdBlue [l/h]	0,00	2,08
Summe Verbrauch [l/h] <i>Total consumption</i>	36,25	34,54
Rel. Dieselverbrauch ¹⁾ <i>Relative diesel consumption</i>	105,51	94,48
Diesel [€/h] ²⁾	44,90	40,20
AdBlue [€/h] ³⁾	0,00	1,65
Summe Prüfstand [€/h] <i>Total costs at the test stand</i>	44,90	41,86
Rel. Kosten ¹⁾ <i>Relative costs</i>	103,50	96,50
Flächenleistung [ha/h] <i>Area performance</i>	5,2	5,3
Diesel [l/ha]	6,96	6,12
AdBlue [l/ha]	0,00	0,39
Summe Verbrauch [l/ha] <i>Total consumption</i>	6,96	6,52
Rel. Dieselverbrauch ¹⁾ <i>Relative diesel consumption</i>	106,42	93,58
Diesel [€/ha] ²⁾	8,62	7,59
AdBlue [€/ha] ³⁾	0,00	0,31
Summe im Feldversuch [€/ha] <i>Total costs in the field trial</i>	8,62	7,90
Rel. Kosten ¹⁾ <i>Relative Costs</i>	104,36	95,64

¹⁾ Index 100 = Durchschnitt beider Traktoren/average of both tractors.

²⁾ Diesel: 1,2385 €/l ohne MwSt/exclusive of VAT.

³⁾ AdBlue: 0,795 €/l ohne MwSt/exclusive of VAT.

Die Werte bestätigen die Erwartung aus dem Praxisprüfstand, der Case CVX 230 hat im Durchschnitt 3,79 l/h Diesel weniger verbraucht als der Case CVX 225. Dafür benötigt der CVX 230 jedoch zusätzlich AdBlue. Doch selbst wenn dieser zum Dieselverbrauch addiert wird, liegt der Gesamtflüssigkeitsverbrauch des CVX 230 immer noch 1,71 l/h unter dem Gesamtdieserverbrauch des CVX 225. Wenn der Mittelwert beider Traktoren gleich 100 gesetzt wird, um das Ergebnis in relativen Zahlen ausdrücken zu können, hat der CVX 230 rund 11% Diesel pro Stunde gegenüber dem CVX 225 eingespart. Nach Auswertung der im Feldversuch ermittelten Daten lässt sich festhalten, dass der CVX 230 beim Dieselverbrauch deutlich sparsamer ist. Dass dieser zusätzlich mit AdBlue betankt werden muss, führte aufgrund des geringen AdBlue-Verbrauchs zu keinem ökonomischen Nachteil.

Bei der Kostenbetrachtung werden lediglich die Komponenten Diesel und AdBlue berücksichtigt. Der Anschaffungspreis und die Reparatur- sowie Wartungskosten werden vernachlässigt, da hierzu auf Basis des Versuchsaufbaus keine zuverlässigen Aussagen getroffen werden können. Für Diesel und AdBlue werden aktuelle Einkaufspreise ohne Mehrwertsteuer herangezogen [6]. Als Basis dient der im Feldversuch gemessene Durchschnittsverbrauch, aus dem die Kosten je Stunde und je Hektar für die beiden Traktoren berechnet werden (**Tabelle 2**).

In Bezug auf die Treibstoffkosten ist der Case CVX 230 dem CVX 225 überlegen. Die kalkulierten Treibstoffkosten des CVX 230 betragen bei aktuellen Diesel- und AdBlue-Preisen 41,86 €/h. Die Treibstoffkosten des CVX 225 liegen dagegen bei 44,90 €/h, somit ergeben sich bei der Stoppelbearbeitung mit beschriebener Kurzscheibenegge Mehrkosten in Höhe von 3,04 €/h. Betrachtet man die Kosten pro Hektar, so errechnet sich eine Differenz von 0,72 €/ha zugunsten des CVX 230. In relativen Zahlen ausgedrückt, ergibt sich mit dem CVX 230 eine Einsparung von 7 % pro Stunde und 8,72 % pro Hektar gegenüber dem CVX 225.

Schlussfolgerungen

Die Motoreneinstellung hat einen erheblichen Einfluss auf das Leistungsverhalten und die Abgase eines Motors.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen erfordern aktive Eingriffe in das Motormanagement und die Abgasnachbehandlung, um die Grenzwerte für Stickoxide (NO_x), Partikel (PM), Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenmonoxid (CO) einzuhalten.

Ein weiteres Problem für die Hersteller und Anwender besteht darin, dass eine tatsächliche Erfassung der Abgasqualität im mobilen praktischen Einsatz nur schwer möglich ist.

Mit den eigenen Versuchen konnte gezeigt werden, dass mit dem Einsatz des AdBlue-Systems Einsparungen größer 10 %

beim Dieserverbrauch erreicht werden können. Diese Vorteile gilt es für den Praktiker nutzbar zu machen. Um die in Stufe IV definierten Grenzwerte ab Januar 2014 zu erreichen, wird von den Herstellern an verschiedenen Konzepten gearbeitet. Die Kombination der beiden Abgasnachbehandlungssysteme SCR und DPF gilt als sehr wahrscheinlich.

Literatur

- [1] Höner, G. (2010): Preissprung durch die neue Abgasnorm? topagrar 5, S. 100–103
- [2] Reckleben, Y. (2011): Abgasgesetzgebung - aktueller Stand, erste Erfahrungen. Vertrauliches Rundschreiben des Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft, 05/2011, S. 10–12
- [3] Eggers, H. (2006): Bedienungsanleitung der Wirbelstrombremse für die Zapfwelle „Eggers PT02“. KL-Maschinebau, Rendsburg
- [4] Saxon Junkalor GmbH (2010): Bedienungsanleitung „Opacilyt 1030 - Opazimeter zur Bestimmung der Rauchgasdichte“. <http://www.saxon-junkalor.de/documents/BAOpa.pdf>, Zugriff am 17.7.2013
- [5] Gietzelt, C.; Degrell, O.; Mathies, K. (2012): In-use-Emissionsmessungen an Motoren von mobilen Maschinen. Landtechnik 67(5), S. 366–369
- [6] Reckleben, Y.; Thomsen, H. (2013): Getriebevergleich bei Traktoren im Straßentransport. Landtechnik 68(2), S. 295–298

Autoren

Prof. Dr. Yves Reckleben ist Leiter des Fachgebiets Landtechnik, **B. Sc. Sascha Trefflich** studiert am Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Kiel, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, E-Mail: yves.reckleben@fh-kiel.de

Hermann Thomsen ist Leiter für Industrieschulungen bei der DEULA Schleswig-Holstein GmbH, Grüner Kamp 13, 24768 Rendsburg

Danksagung

Unser Dank gilt den Projektpartnern Case IH in Heilbronn und St. Valentin und Kverneland in Soest, die uns mit Technik unterstützt haben, und der Agro-Bördegrün für die zur Verfügung gestellte Fläche.