



## Schadstoffminderung bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen

### SSM Vortragstagung 20. September 2007

Marco Landis, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon,  
CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: [marco.landis@art.admin.ch](mailto:marco.landis@art.admin.ch)

Wie jede mit einem Verbrennungsmotor betriebene Maschine, stossen auch die Fahrzeuge der Landwirtschaft gesundheitsschädigende Schadstoffe aus. Neueste Berechnungen beziffern den jährlichen Ausstoss an krebserregendem Dieseleruss aus der Landwirtschaft mit 400 Tonnen. Diese Menge liegt in vergleichbarer Grössenordnung mit den Partikelemissionen von Lastwagen.

### Fahrzeugflotte

Die Hauptanzahl landwirtschaftlicher Maschinen stellen die Traktoren. Sie werden für die verschiedensten Arbeiten eingesetzt. So dienen sie als Zugfahrzeug bei Transportarbeiten, treiben über die Zapfwelle Geräte an und werden in Kombination mit einem Frontlader auch für den Materialumschlag eingesetzt. Neben den Traktoren bilden die Zweiachsmäher und Transporter eine weitere wichtige Gruppe. Diese Fahrzeuge sind aufgrund ihrer besonderen Bauweise für Einsätze im Hügel- und Berggebiet bestens geeignet. Bei den restlichen Maschinen der Landwirtschaft handelt es sich vorwiegend um Spezialmaschinen, wie Mähdrescher, Feldhäcksler und Spritzen.

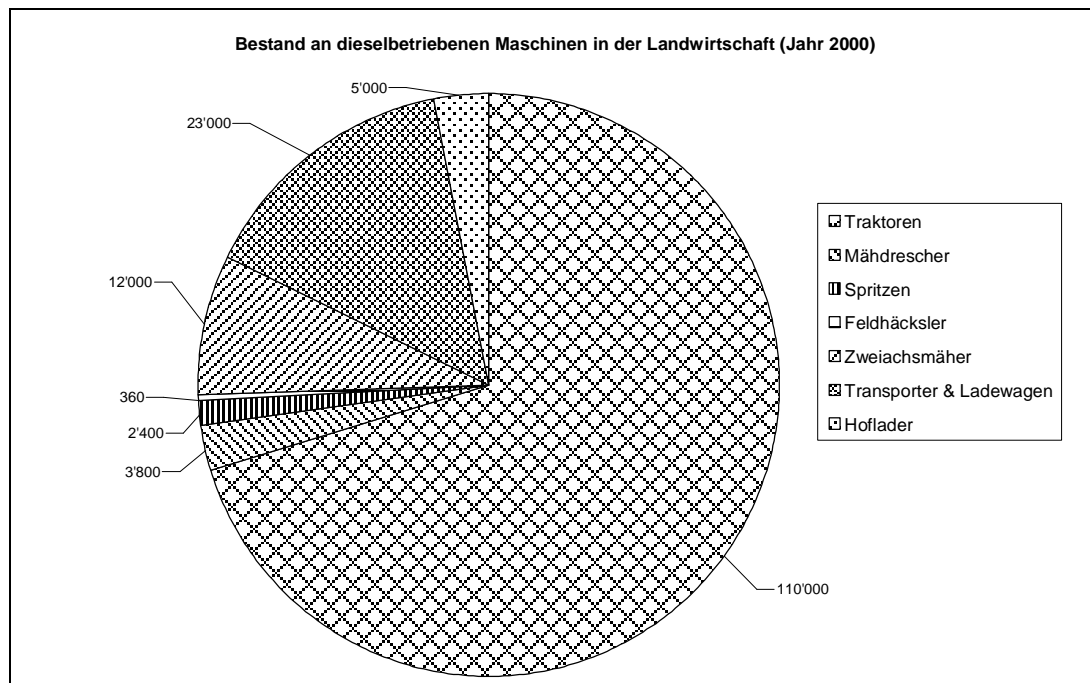


Abbildung 1: Bestand an dieselbetriebenen Maschinen in der Landwirtschaft

Eine Besonderheit der landwirtschaftlichen Maschinen besteht darin, dass sie aufgrund der geringen jährlichen Stundenzahl sehr lange in Betrieb bleiben. Rund die Hälfte der Traktoren in der Schweiz ist älter als 20 Jahre (Abb. 2). Die jährlichen Betriebsstunden betragen durchschnittlich knapp 200 Stunden, wobei die neuen Traktoren mehr eingesetzt werden als die älteren, die häufig nur noch gelegentliche und leichte Arbeiten leisten. Abbildung 2 zeigt zudem den Trend zu stärkeren Maschinen. Der Anteil an Traktoren mit Leistungen bis 75 kW

nimmt stetig ab, während die grösseren Traktoren zulegen. Dies ist auf den Trend zu grösseren Anbaugeräten zurückzuführen, welche eine erhöhte Schlagkraft bieten. Ausserdem werden vermehrt Arbeiten von Lohnunternehmern durchgeführt, welche entsprechend leistungsfähige Maschinen einsetzen.

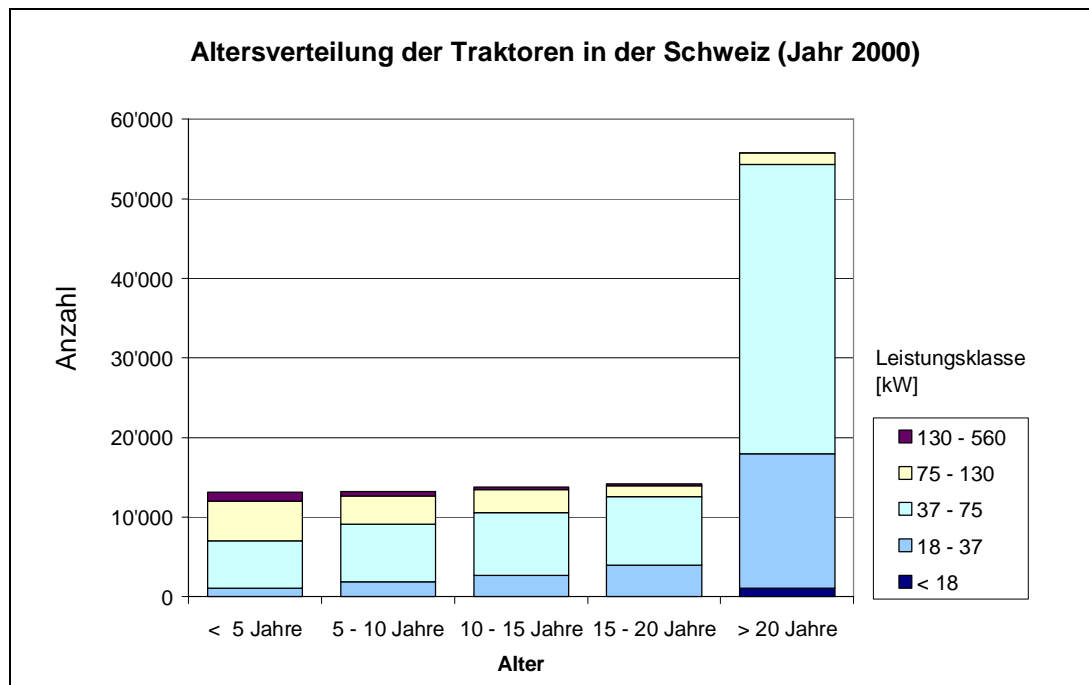


Abbildung 2: Altersverteilung der Traktoren in der Schweiz

## Lastkollektive

Traktoren werden in der Praxis mit einem relativ geringen Lastfaktor von 0.25 – 0.30 betrieben. Dies ist deutlich tiefer als der Messzyklus nach ISO 8178-C1, welcher einem Lastfaktor von 0.48 entspricht. Der geringe Lastfaktor bei Traktoren in der Landwirtschaft entsteht durch die vielfältige Verwendung dieser Fahrzeuge mit unterschiedlichen Geräten. So benötigen einige Geräte oder auch Transportanhänger viel Motorleistung. Für die restlichen Arbeiten ist aber deutlich weniger Leistung erforderlich. Der Unterschied zwischen starker und geringer Motorauslastung ist deutlich in Abbildung 3 zu sehen. Die Abbildung zeigt zwei Verläufe der Abgastemperatur während Holzspalten und Transportarbeiten. Die Abgastemperatur wurde direkt nach dem Turbolader gemessen. Die Arbeit vor dem Holzspalter erfordert nur eine geringe Motorleistung, entsprechend gering ist die Abgastemperatur. Bei dieser Arbeit wird der Motor mit einer geringen Drehzahl betrieben, die nur leicht über dem unteren Leerlauf liegt. Zu beachten ist insbesondere die lange Dauer dieser Tätigkeit bei geringer Last. Die zweite Kurve eines Traktors, welcher für Transportarbeiten genutzt wird, zeigt deutlich die teilweise hohe Motorauslastung mit entsprechend hoher Abgastemperatur. Erkennbar sind auch die deutlichen Schwankungen der Abgastemperatur, welche auf den unterschiedlichen Bedarf an Leistung zurückzuführen sind. Fährt der Traktor mit beladenen Anhängern eine Steigung hoch, wird der Motor fast maximal belastet, bei anschliessender Talfahrt läuft der Motor sogar im Schubbetrieb. Diese sehr unterschiedlichen Einsatzfälle zeigen auch die Problematik beim Einsatz von Abgasnachbehandlungssystemen auf, da diese in allen Einsatzfällen funktionieren müssen.

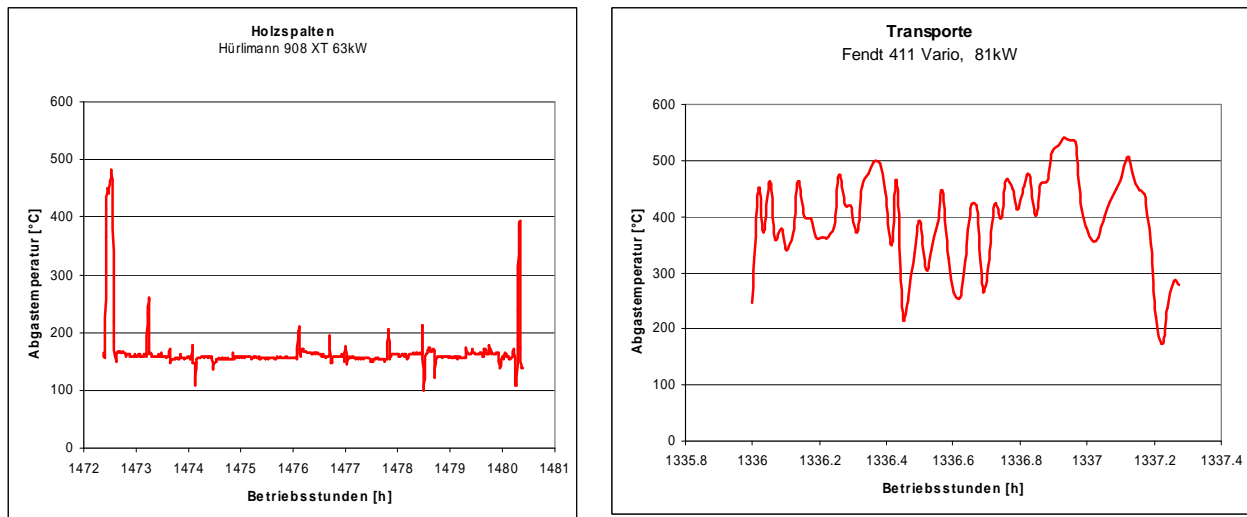


Abbildung 3: Beispiele von Temperaturprofilen für Holzspalten und Transportarbeit

## Entwicklung der Abgasemissionen

Rauchmessungen mittels Bestimmung der Schwärzungszahl werden an Agroscope ART seit 1979 im Rahmen der Traktorprüfungen durchgeführt. Die Rauchmessungen erfolgen dabei jeweils unter Volllast bei 95 % und 70 % der Nenndrehzahl, sowie beim maximalen Drehmoment. Die Entwicklung der Rauchwerte bei Volllast und 70 % der Nenndrehzahl zeigt über die Jahre gesehen einen abnehmenden Verlauf (Abb.4). Deutlich ist der Fortschritt im Bereich der Motoren zu sehen. Zu Beginn der Messungen waren die meisten getesteten Traktoren mit Saugmotoren ausgerüstet, welche langsam durch aufgeladene Motoren ersetzt wurden. Seit etwa 2000 werden bei Traktoren auch aufgeladenen Motoren mit Ladeluftkühlung eingesetzt.

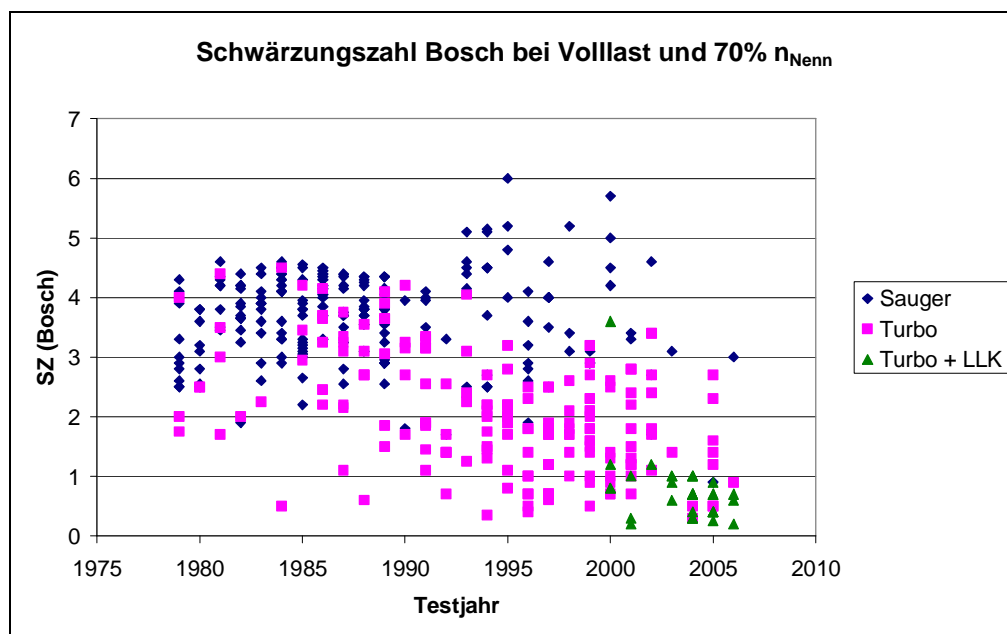


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der Schwärzungszahlen

Seit 1994 werden an Agroscope ART zudem die gesetzlich limitierten Abgasbestandteile Kohlenwasserstoffe HC, die Stickoxide NO<sub>x</sub> und Kohlenmonoxid CO gemessen. Dazu steht eine Abgasmessanlage zur Verfügung. Gemessen wird nach dem ISO 8178-C1 Messzyklus, der sich aus acht Messpunkten zusammensetzt, die über das Kennfeld verteilt sind. Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Stickoxidemissionen, welche neben den Partikeln ein

Hauptschadstoff aus Dieselmotoren sind. Deutlich lässt sich die Abnahme der Emissionen erkennen. Für die Messung wird der Motor nicht ausgebaut, sondern die Leistung wird an der Zapfwelle abgenommen. Da zwischen dem Motor und der Zapfwelle noch ein Getriebe und Nebenaggregate, wie Hydraulikpumpen angeordnet sind, kommt an der Zapfwelle weniger Leistung an. Da die spezifischen Emissionen durch die Leistung dividiert werden, sind die Emissionen mit Leistungsabnahme an der Zapfwelle um etwa 15 % höher als wenn die Leistung direkt am Motor gemessen würde. Daher können die gemessenen Emissionen über den gesetzlichen Grenzwerten liegen.

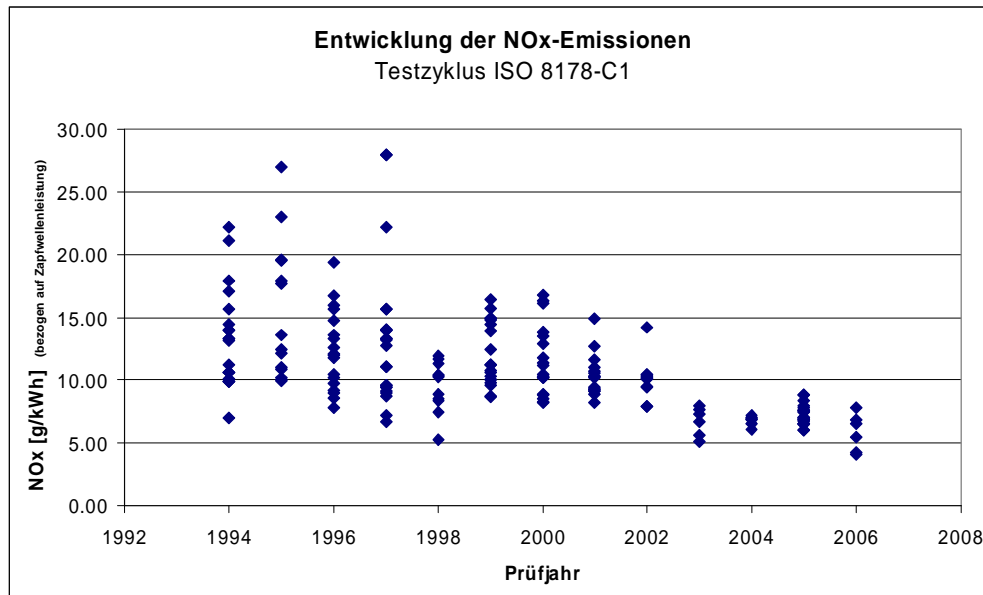


Abbildung 5: Entwicklung der NOx-Emissionen von Traktoren

## Erfahrungen mit Partikelfiltern

Da bisher keine Traktoren werkseitig mit Partikelfiltern ausgerüstet werden, wurde die Möglichkeiten zur Nachrüstung von landwirtschaftlichen Maschinen mit Partikelfiltern untersucht. Dazu wurden acht Traktoren in unterschiedlichen Leistungskategorien und ein Hoflader mit Filtersystemen nachgerüstet. Diese Fahrzeuge werden in verschiedenen Bereichen der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt. Damit können viele unterschiedliche Arbeiten dieser Gebiete abgedeckt werden. Diese Fahrzeuge verfügen über Motoren der Abgasstufe 2 oder älter. Die Abgastemperaturen wurden bei den Versuchsfahrzeugen über einen längeren Zeitraum mit Hilfe eines Datenloggers aufgezeichnet, um ein für den jeweiligen Einsatz passendes Filtersystem zu wählen. Alle Aufbauten wurden von Filterherstellern oder deren Importeuren vorgenommen (Abb 6). Es wurden geschlossene Filtersysteme mit unterschiedlichen Regenerationsarten eingebaut.

Im Neuzustand wiesen alle Filter bezüglich der Partikelanzahl eine Abscheiderate von über 99 % auf. Bei einigen Lastpunkten war die Partikelkonzentration nach dem Filter teilweise geringer als in der Umgebungsluft.

Während des Praxiseinsatzes traten bei einigen Filtern Störungen auf. Das Spektrum reichte von zu hohen Gegendrücken, welche einen erneuten Aufbau mit einem grösseren Filter erforderlich machten, über Störungen mit den elektronischen Filterüberwachungssystemen, bis hin zu drei Fahrzeugen bei denen es zu einem oder mehreren Filterschäden kam. Beschädigungen an Motoren traten keine auf. Es gibt mehrere Ursachen für Filterschäden. Ein Filtermodell befand sich noch im Prototypenstadium und ein Fahrzeug erreichte die nötigen Abgastemperaturen für das passive System nicht, wobei der Motor zugleich bei niedriger Drehzahl Öl zu pumpen begann, was den Filter verstopfte.





<p><b>Lindner Geotrac 65</b></p>  <p>Motorleistung: 48 kW Filterprinzip: Katalytische Beschichtung</p>	<p><b>Fendt 411 Vario</b></p>  <p>Motorleistung: 81 kW Filterprinzip: Vorkatalysator CRT</p>
<p><b>Schäffer 4042 (Hoflader)</b></p>  <p>Motorleistung: 29 kW Filterprinzip: Dieselstillstandsbrenner</p>	<p><b>Hürlimann XT 908</b></p>  <p>Motorleistung: 63 kW Filterprinzip: Additivzumischung aus Zusatztank</p>
<p><b>Valtra 6350-4 blau</b></p>  <p>Motorleistung: 66 kW Filterprinzip: Katalytische Beschichtung</p>	<p><b>Deutz Agrotron K100</b></p>  <p>Motorleistung: 70 kW Filterprinzip: Elektrische Beheizung im Stillstand</p>
<p><b>Valtra 6350-4 rot</b></p>  <p>Motorleistung: 74 kW Filterprinzip: Vorkatalysator CRT</p>	<p><b>John Deere 6620</b></p>  <p>Motorleistung: 92 kW Filterprinzip: Additivzumischung aus Zusatztank</p>
<p><b>Same Dorado 75</b></p>  <p>Motorleistung: 53 kW Filterprinzip: Katalytische Beschichtung</p>	

Abbildung 6: Partikelfilterfahrzeuge im Nachrüstversuch

Der Filteraufbau auf einen Traktor mittlerer Grösse verursacht Kosten zwischen etwa CHF 8000.- und 15 000.-. Zusätzlich fallen wiederkehrende Kosten für die Filterreinigung und für Zusatzenergie bei aktiven Filtersystemen an. Das Fazit der Versuche ist, dass jeder Aufbau auf das entsprechende Fahrzeug abgestimmt sein muss. Es gibt keine Universallösung.

Die genauen Resultate des Versuchs können im ART-Bericht 677 "Partikelfilter-Nachrüstung bei Traktoren" nachgelesen werden.

[http://www.services.art.admin.ch/pdf/ART\\_Bericht\\_677\\_D.pdf](http://www.services.art.admin.ch/pdf/ART_Bericht_677_D.pdf)

### Ausblick

Die nächste Verschärfung der Abgasgrenzwerte erfolgt mit Einführung der Abgasstufe 3B für Fahrzeuge > 37 kW in den Jahren 2011 bis 2013, abgestuft nach Leistungsklassen. Mit Einführung dieser Abgasstufe verändert sich der Messzyklus. Wurde bis anhin mit einem stationären 8-Stufen Zyklus gemessen, wird neu der dynamische NRTC-Zyklus angewendet. Abbildung 7 zeigt die Verschärfung der Abgasgrenzwerte für NO<sub>x</sub> und PM für Traktoren der Leistungsklasse 75 bis 130 kW. Das angegebene Jahr bezieht sich auf den Termin für die 1. Inverkehrsetzung bzw. 1. Inbetriebnahme von neuen Motoren.

Für das Einhalten der Abgasstufe 3B und später auch der Stufe 4 ist nach jetzigem Wissensstand eine Abgasnachbehandlung zwingend notwendig, wobei folgende Techniken möglich sind:

- Motor mit Abgasrückführung und geschlossenem Partikelfilter
- Motor mit Abgasrückführung und offenem Filter oder Oxidationskatalysator
- Motor mit SCR-System (selective catalytic reduction)

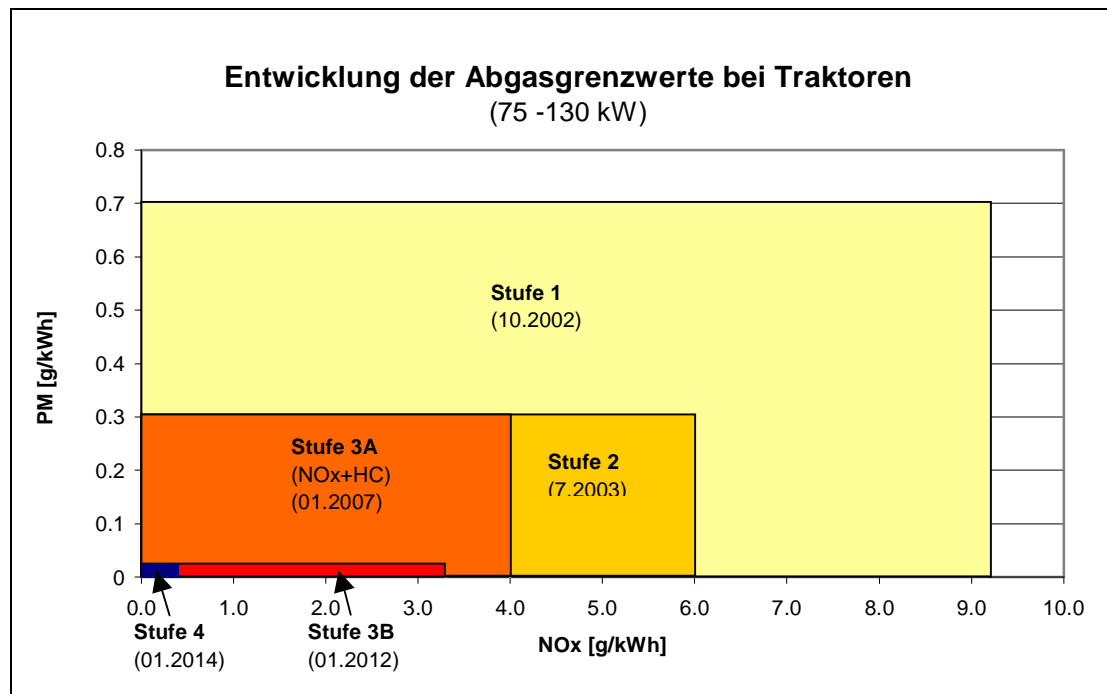


Abbildung 7: Entwicklung der Grenzwerte für PM und NO<sub>x</sub> bei Traktoren