

Marco Landis, Isidor Schiess und Ueli Wolfensberger, Tänikon/Schweiz

Reduktion der Dieselrußemissionen von Traktoren durch die Nachrüstung mit Partikelfiltern

Die von Dieselmotoren erzeugten Rußpartikel gehören nach heutiger Kenntnis zu den gesundheitsschädlichsten Bestandteilen des PM-10 Feinstaubes. Aufgrund der geringen Größe der einzelnen Partikel von durchschnittlich 0,1 µm können sie bis in die Lungenbläschen vordringen. In der Schweiz werden jährlich rund 400 Tonnen Dieselruß von landwirtschaftlichen Maschinen ausgestoßen [1]. Da erst die Einführung der Abgasstufe 3B ab 2011 eine Verschärfung des massebezogenen Partikelgrenzwertes mit sich bringt und die Lebensdauer von landwirtschaftlichen Fahrzeugen sehr lang ist, schien es angezeigt, die Möglichkeiten zur Nachrüstung von landwirtschaftlichen Maschinen mit Partikelfiltern zu untersuchen.

Ein geschlossener Partikelfilter besteht meist aus einem wabenförmigen Filterkörper aus Siliziumcarbid, Cordierit oder Sintermetall. Durch die wechselseitig verschlossenen Kanäle wird das Abgas gezwungen, die porösen Trennwände des Monolyten zu durchströmen. Dabei lagert sich der Ruß ab. Für eine gute Abscheidung sind geringe Strömungsgeschwindigkeiten notwendig. Dies macht eine gewisse Baugröße des Filters notwendig. Damit der Filter nicht verstopft, wird der Ruß periodisch oder kontinuierlich zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) und wenig Asche verbrannt. Ruß besteht zum größten Teil aus Kohlenstoff und beginnt normalerweise bei Temperaturen über 600°C (Rußzündtemperatur) abzubrennen. Da in der Praxis kaum derart hohe Abgastemperaturen erreicht werden, gibt es grundsätzlich zwei Strategien, um den Ruß zu verbrennen: Bei aktiven Filtersystemen wird während der Regeneration zusätzliche Wärmeenergie, etwa durch Strom oder durch einen Dieselmotor, zugeführt. Bei passiven Filtersystemen wird die Rußzündtemperatur durch Vorschalten eines Oxidationskatalysators vor den Filter, einer Beschichtung des Filters oder durch Zugabe eines Additivs in den Treibstoff auf unter 300 °C abgesenkt.

Versuchsanlage

Die Zielsetzung des vom Bundesamt für Umwelt (BAFU, Bern CH) finanziell mit unterstützten Projekts war die Abklärung sämtlicher Anforderungen für den Einsatz von Partikelfiltern bei Traktoren. Es galt die Robustheit, Einfachheit im Betrieb, Effizienz der Partikeleliminierung (gemäß BAFU/SUVA-Filterliste [2] und SNR

277205 [3]) und die Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Dazu wurden acht Traktoren und ein Hoflader für die Nachrüstung mit Filtersystemen ausgewählt, die in verschiedenen Bereichen der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden. Die Abgastemperaturen wurden bei den Versuchsfahrzeugen über einen längeren Zeitraum mit Hilfe eines Datenloggers aufgezeichnet. Aufgrund der Aufzeichnungen wählten die Lieferanten ein entsprechendes Partikelfiltersystem und bauten es auf. Dabei kamen sowohl aktive wie auch passive Filtersysteme zum Einsatz.

Praxiserfahrungen

Die Einbausituationen erwiesen sich mit wenigen Ausnahmen als schwierig. Zusatzgeräte wie Frontlader engten das Platzangebot stark ein. Die häufigste Anordnung ergab sich stehend entlang der A-Säule der Kabine (Bild 1), was mehr oder weniger starke Sichtfeldeinschränkungen bewirkte.

Die mit Datenlogger aufgezeichneten Abgasgedrücke bei den Versuchsfahrzeugen bewegten sich im Betrieb zwischen 50 und 150 mbar. Durch eine ausreichende Dimensionierung der Partikelfilter wurden Abgasgedrücke gleich oder nur leicht höher als mit originaler Abgasanlage angestrebt (Bild 2). Einzelne Maximalwerte erreichten 200 mbar. Somit lagen die Werte teilweise höher als von den Motorenherstellern zugelassen wäre. Bei einzelnen Aufbauversuchen erzeugte der gewählte Filter einen zu hohen Gegendruck, so dass ein grösserer Filter aufgebaut werden musste.

Dipl.-Ing. (FH) Marco Landis, Dipl.-Ing. Ueli Wolfensberger und Isidor Schiess sind Mitarbeiter der Forschungsgruppe Agrartechnische Systeme an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8356 Ettenhausen, Schweiz; e-mail: marco.landis@art.admin.ch

Schlüsselwörter

Dieselruß, Partikelfilter, Emission

Keywords

Diesel exhausts particulates, particulate filter, emission

Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08411 über Internet www.landtechnik-net.de/literatur.htm.

Bild 1: Mit einem Partikelfiltersystem nachgerüsteter Traktor

Fig. 1: Tractor retrofitted with a particulate filter



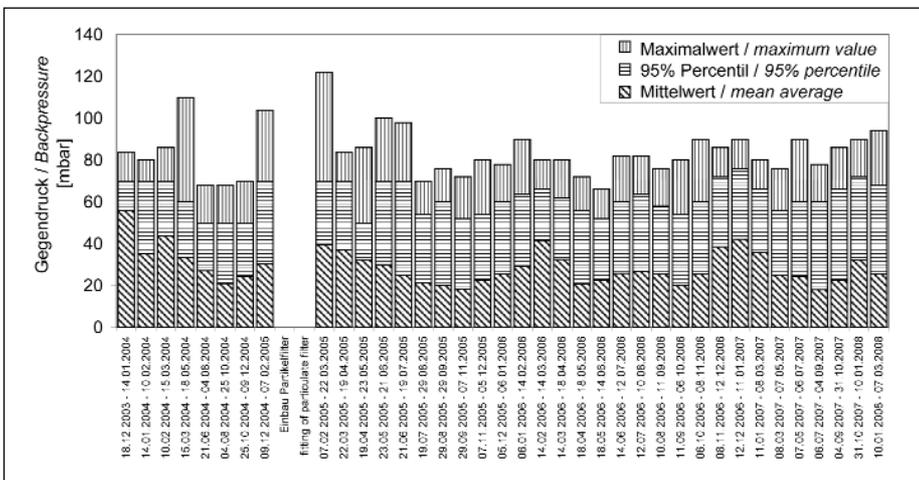


Bild 2: Entwicklung des Abgasgegendrucks, ohne und mit Partikelfilter (Traktor Lindner Geotrac 65)

Fig. 2: Development of the exhaust backpressure with and without particulate filter (Lindner Geotrac 65 tractor)

Zwei Versuchsfahrzeuge stehen ohne Probleme im Einsatz und haben zum Teil bereits über 1300 Stunden ohne Beanstandungen absolviert. Gewisse Versuchsfahrzeuge wiesen für das passive Filtersystem ideale Einsatzbedingungen auf, indem beispielsweise durch den Einsatz vor einem Mischwagen oder durch schwere Transport- oder Ackerarbeiten regelmäßig hohe Abgastemperaturen auftraten. Bei tiefen Abgastemperaturen arbeiteten die aktiven Systeme, die bei eindeutigem Gegendruckanstieg (also zunehmender Filterbelastung) mit elektrischer Energie vom Netz oder mit Hilfe eines Dieselmotors den gesammelten Ruß verbrennen, ohne Probleme. Dies hat je nach Einsatz etwa nach acht bis 35 Betriebsstunden zu erfolgen und dauert beim elektrischen System etwa eine Stunde, beim Brennersystem rund 15 Minuten.

Bei einigen Fahrzeugen traten während des Betriebs Störungen wie eine defekte Glühkerze des Dieselmotors oder Störungen an der elektronischen Filterüberwachung auf, die relativ rasch zu beheben waren. In ganz wenigen Fällen verstopften die Filter, was mit einer Arbeitsunterbrechung zwecks Filterreinigung verbunden war.

Schwere Störungen, die den Ausbau des Partikelfilters erforderten, traten bei vier Fahrzeugen auf. Ursache für die Ausfälle waren zum Beispiel der ungünstige Einsatzbereich des Versuchsfahrzeugs mit Arbeiten bei geringer Last in Kombination mit einem passiven Filtersystem oder der Einsatz von Filtern, die sich noch im Prototypenstadium befanden.

Hohe Wirksamkeit der Filter

Für die Partikelmessung wurde die Anzahl der Partikel gezählt. Dies bietet gegenüber der Wägung der Partikel den Vorteil, dass auch die ultrafeinen Partikel berücksichtigt werden, die bei der Wägung kaum von Bedeutung sind. Alle gemessenen, geschlossenen Filtersysteme wiesen im Neuzustand ei-

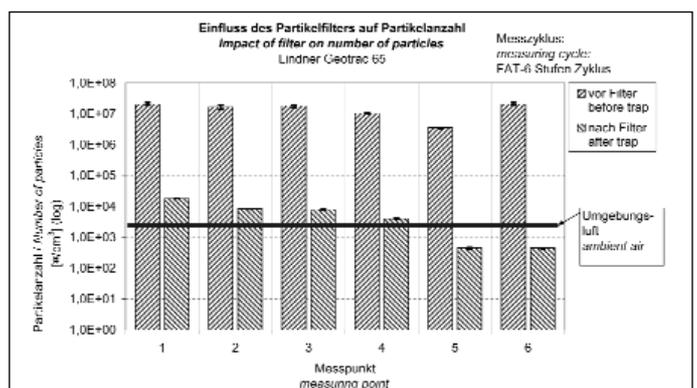
ne hohe Abscheiderate von über 99 % auf (Bild 3). Für die Abgasmessungen wurde der FAT-6-Stufenzyklus verwendet [4]. Dieser Zyklus schließt sechs verschiedene Punkte aus dem gesamten Motorenkennfeld ein. Die Leistungsabnahme erfolgte an der Zapfwelle der Traktoren. Lediglich beim Hoflader musste die Leistung hydraulisch gemessen werden. Messpunkt 1 ist bei hoher Drehzahl und hoher Last, Messpunkt 6 entspricht dem unteren Leerlauf des Motors. Bei solch niedriger Motorbelastung war die Partikelkonzentration im Abgas nach dem Filter tiefer als in der Umgebungsluft, was die hohe Filtereffizienz belegt.

Kosten

Der Investitionsbedarf für einen Partikelfilteraufbau auf einen Traktor mittlerer Größe beträgt 5000.- € bis 10000.- €. In diesem Preis ist die Montage inbegriffen. Der Preis hängt von verschiedenen Faktoren ab: Motorgroße, Partikelfiltersystem und vor allem auch vom Aufwand der Montage. Da über die Lebensdauer eines Filters noch keine Aussagen gemacht werden können, ist die Abschätzung der zu erwartenden Mehrkosten pro Betriebsstunde äußerst schwierig. Neben der Anschaffung fallen wiederkehrende Kosten für Wartung und Unterhalt an. Die Reinigung des Filters von Asche, welche alle 250 bis 1000 Betriebsstunden zu erfol-

Bild 3: Einfluss des Partikelfilters auf Partikelanzahl. Messpunkte gemäß FAT-6-Stufentest [4]

Fig. 3: Impact of the particulate filter on number of particles. Measuring points according to FAT 6-level test [4]



gen hat, ergibt Zusatzkosten von rund 300.- € pro Reinigung. Zusätzlich können noch weitere Kosten auftreten wie Stromkosten für Regeneration bei elektrischen Systemen, Kosten für das Additiv bei Additivsystemen, Treibstoffkosten für die Regeneration mit dem Brennersystem.

Zusammenfassung und Ausblick

Zur Reduktion der Rußemissionen wurden acht Traktoren und ein Hoflader nachträglich mit Partikelfiltern ausgerüstet. Die Fahrzeuge wurden in verschiedenen Bereichen der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt, um möglichst viele unterschiedliche Arbeiten abzudecken. Die geschlossenen Partikelfilter stammten von verschiedenen Herstellern und verfügten über unterschiedliche Regenerationssysteme.

Die Wirksamkeit war bei allen gemessenen Filtern mit einem Abscheidegrad von 99 % bezogen auf die Anzahl der Feinpartikel im Neuzustand außerordentlich hoch. Bei Einbau und Betrieb traten verschiedene Probleme auf: Großer Platzbedarf des Filters beim Aufbau, Nichterreichen der notwendigen Abgastemperaturen, nicht ausreichende Dimensionierung des Filters zur Vermeidung eines Gegendruckanstiegs, Elektronikausfall der Filterüberwachung bis hin zum Totschaden des Filters, was allerdings nie zu einem Motorschaden führte.

In der Gesetzgebung wird auf europäischer Ebene der Partikelgrenzwert mit der EU-Stufe IIIB für Fahrzeuge > 37 kW in den Jahren 2011 bis 2013, abgestuft nach Leistungsklassen, deutlich abgesenkt [5]. Dieser Grenzwert bezieht sich auf die Partikelmasse. Das Einhalten dieses Grenzwerts wird möglich durch:

- Motor mit Abgasrückführung und geschlossenem Partikelfilter. Dabei ist davon auszugehen, dass die Motorsteuerung auf den Partikelfilter abgestimmt ist und die Regeneration zuverlässig steuern kann.
- Motor mit Abgasrückführung und offenem Filter oder Oxidationskatalysator
- Motor mit SCR (selective catalytic reduction)-System oder SCRT-System

Literatur

- [1] Medienmitteilung vom 29. 3. 2007: Dieselruß aus landwirtschaftlichen Maschinen: Ausstoß-Zahlen aufdatiert. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2007
- [2] Filterliste BAFU/Suva 2007: Geprüfte und erprobte Partikelfilter-Systeme für die Nachrüstung von Dieselmotoren. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Stand: Dezember 2007
- [3] Schweizer Regel SNR 277205: Prüfung von Partikelfiltersystemen für Verbrennungsmotoren. SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur, 2007
- [4] *Rinaldi et al.*: Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten. FAT-Schriftenreihe Nr. 65, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (vormals FAT), Ettenhausen, 2005
- [5] Richtlinie 2005/13/EG der Kommission vom 21. Februar 2005 zur Änderung der Richtlinie 2000/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverreinigender Partikel aus Motoren, die für den Antrieb von land- und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen bestimmt sind, und zur Änderung von Anhang I der Richtlinie 2003/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates betreffend die Typgenehmigung für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen.