

**Zeitschrift:** Landtechnik Schweiz  
**Herausgeber:** Landtechnik Schweiz  
**Band:** 63 (2001)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Der Katalysator : ein Allheilmittel für den Traktor?  
**Autor:** Stadler, Edwin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1080941>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Der Katalysator, ein Allheilmittel für den Traktor?

### Wirkung und Langzeitverhalten eines Abgaskatalysators an einem Obstbau-Traktor mit Dieselmotor

Edwin Stadler, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Als Reaktion auf die zunehmende Luftbelastung durch Motorabgase zu Beginn der 1990er Jahre verschärfte der Gesetzgeber die Abgasgrenzwerte auch für den Bereich Nutzfahrzeuge stufenweise. In der Folge setzte bei den schweren Dieselmotoren mit Direkteinspritzung eine rasche technische Entwicklung ein, die bis heute anhält. Bei den Dieselmotoren des Nichtstrassenverkehrs, dem sogenannten «Off-Road-Sektor», zu dem auch die Landwirtschaft gehört, folgten die gesetzlichen Auflagen und demzufolge die technische Weiter-

entwicklung der Motoren nur verzögert. Subjektiv fallen bei den Traktorabgasen oft der Schwarzrauch bei hoher Motorbelastung und der dieseltypische Geruch auf, der bei bestimmten Motortypen sehr unangenehm und lästig sein kann. Verschiedene Traktorhersteller bieten seit Anfang der 1990er Jahre einen nachrüstbaren Abgaskatalysator an. Die vorliegende Untersuchung wurde an einem Obstbau-Traktor mit Dieselmotor und Abgaskatalysator durchgeführt. Unsere Untersuchungen ergaben (für den Abgaskatalysa-

tor) eine reduzierende Wirkung auf die Motorabgase Kohlenwasserstoffe (HC), und Kohlenmonoxid (CO) nicht aber auf die Stickoxide (NOx) und den Schwarzrauch. Das subjektive Empfinden der Traktorfahrer bestätigt eine Verbesserung in Bezug auf die Geruchsbelästigung. Das Langzeitverhalten des Katalysators in Bezug auf seine Wirksamkeit kann ebenfalls positiv beantwortet werden. Zusammengefasst: Der Abgaskatalysator kann unter bestimmten Anwendungsfällen – Traktoreinsatz vorwiegend in wenig durchlüfteten Gebäuden oder Treibhäusern oder in engen Reihenkulturen wie Obst- und Weinbau – durchaus eine Entlastung des Bedienungspersonals von schädlichen Abgasen und stechendem Dieselgeruch darstellen.



Abb. 1: Beim Traktoreinsatz in wenig durchlüfteten Gebäuden, Treibhäusern oder Obst- und Weinkulturen kann der Oxidationskatalysator das Fahrpersonal teilweise von schädlichen und lästigen Motorabgasen entlasten.

Inhalt	Seite
Problemstellung	33
Motorabgase und ihre Entstehung im Dieselmotor	33
Abgaskatalysator und seine Wirkung am Dieselmotor	33
Versuchsablauf	34
Abgasmessungen (Messmethode)	35
Messresultate	36
Zusammenfassung und Ausblick	38

## Problemstellung

Das verstärkte Umweltbewusstsein der Bevölkerung in der ersten Hälfte der 1990er Jahre – das Wort «Waldsterben» war in aller Munde – veranlasste die FAT, dem Thema Motorabgase vermehrt Aufmerksamkeit zu schenken. Die starke Motorisierung der Außen- und Innenwirtschaft lassen die zunehmenden Motorabgase nicht unbedingt wegen ihrer direkten Giftigkeit, so doch wegen des Schwarzrauches und des sehr unangenehmen typischen Dieselergeruches zuweilen zum Ärgernis werden. Mit dem versuchsweise nachträglichen Einbau eines Oxidationskatalysators in einen Traktor im Jahre 1991 sollte die Wirksamkeit des Systems und das Langzeitverhalten untersucht werden.

## Motorabgase und ihre Entstehung im Dieselmotor

Bei der Einspritzung im Dieselmotor besteht der aus der Einspritzdüse austretende Treibstoffstrahl aus Tröpfchen unterschiedlicher Größe. Die Kompressionswärme bewirkt ein Verdampfen dieser Tröpfchen. Durch Verwirbelung und Diffusion der gasförmigen Treibstoffkomponenten wird ein zündfähiges Gemisch mit Luftsauerstoff gebildet. Wegen der sehr kurzen Reaktionsdauer und inhomogenen Gemischbildung werden nicht alle Ausgangssubstanzen verbrannt, so dass es im Abgas auch einen Teil des unverbrannten Treibstoffes hat. Im Abgasstrom besteht der überragende Anteil der Abgaskomponenten, nämlich zirka 99,7 Gew.-Prozent aus Bestandteilen der Luft (Scheidegger 2000). Maximal 0,3 Gew.-Prozent des Abgasstromes bildet sich aus einem Gemisch aus Schadstoffen im engeren Sinn. Zu den wichtigsten schädlichen bzw. belästigenden Abgaskomponenten aus der Verbrennung gehören:

### Unverbrannte und teilverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC)

In geringen Mengen sind im Abgas unverbrannte, gekrackte und teilverbrannte Kohlenwasserstoffe verschiedener che-

mischer Konfigurationen vorhanden. Die maximalen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Abgas treten hauptsächlich bei niederer Last auf.

### Stickoxide (NOx)

Die Bildung von Stickoxiden durch die Reaktion zwischen Stickstoff und Sauerstoff der Verbrennungsluft nimmt mit steigender Temperatur zu. Im Motor selbst entsteht zunächst Stickstoffmonoxid (NO), das im Abgasrohr oder der Umgebung bei Sauerstoffüberschuss zu Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) aufoxidiert. Beide Stickoxide sind giftig. Zusammen mit den Aldehyden, das heisst mit den teilverbrannten Kohlenwasserstoffen, wirken die Stickoxide reizend auf Augen und Schleimhäute. Sie sind zusammen mit den Kohlenwasserstoffen für die Smog-Bildung mit verantwortlich. Die Summe der Stickoxide (NO und NO<sub>2</sub>) werden bei der Abgasmessung unter der Bezeichnung NOx zusammengefasst.

### Kohlenmonoxid (CO)

Als Produkt unvollständiger Verbrennung entsteht das hochgiftige, geschmack- und geruchlose Kohlenmonoxid. Die giftige Wirkung ergibt sich aus der Bindung an das Hämoglobin des Blutes, das damit seine Aufgabe, Sauerstoff zu den Zellen des menschlichen Körpers zu transportieren, nicht mehr erfüllen kann. Beim Dieselmotor, der immer mit Luftüberschuss betrieben wird, entsteht CO bei örtlichem Luftmangel, bei ungenügender Kraftstoffverteilung im Zylinder sowie durch Einflüsse der kalten Zylinderwand. Der CO-Gehalt im Abgas liegt bei einem modernen Turbodieselmotor auch bei höchster Belastung unter 1000 ppm. Bei Saug- und Turbomotoren älterer Bauart können die Werte unter hoher Belastung, besonders im Bereich des grössten Drehmomentes, bis zum Zehnfachen ansteigen.

### Russpartikel, Schwarzrauch

Vor allem bei hoher Last entsteht im Dieselmotor durch Krackvorgänge bei hohen Temperaturen und örtlichem Luftmangel Russ, der zum grössten Teil aus Kohlenstoff besteht, an den in geringen Mengen höhere Kohlenwasserstoffe angelagert sind. Der Kohlenstoff ist ungiftig. Aber es finden sich unter den im

Russ enthaltenen Kohlenwasserstoffen solche, denen eine krebsfördernde Wirkung zugeschrieben wird. Die Russbildung, die auch beim Anlassen auftritt, wird durch Fehler an den Einspritzorganen des Motors begünstigt.

### Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>

Schwefeldioxid entsteht durch Verbrennung des im Treibstoff enthaltenen Schwefels, übt eine Reizwirkung auf Augen und Schleimhäute aus und wirkt nach Verbindung mit Wasser zu schwefriger Säure stark korrodierend.

### Geruchsbelästigung durch Motorabgase

Der typische Geruch der Abgase von Dieselmotoren wird durch teilverbrannte und gekrackte Kohlenwasserstoff-Verbindungen hervorgerufen. Schädlich sind besonders die Aldehyde, die sich durch lästigen Augen- und Nasenreiz auswirken (Tritthart 1980). Die maximalen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Abgas treten hauptsächlich bei niederer Last auf. Es ist deshalb anzunehmen, dass dies der Grund ist, weshalb die Motorabgase besonders bei leichten Arbeiten im Hof wie beim Maschinen an- und abkoppeln, den Ladewagen in der Futtertenne entladen und ähnliches als besonders lästig empfunden werden. Aber auch bei Arbeiten in Kulturen wie Obst- und Weinbau, wo die Abgase wegen der Gewächse wenig Windabzug haben und sich somit aufkonzentrieren, kommt der Wunsch nach Abhilfe öfters, und nicht nur von Menschen, die Atemprobleme haben. Die Geruchsbildung hängt weniger vom Treibstoff, als viel mehr vom Motor bzw. der Verbrennung ab.

## Abgaskatalysator und seine Wirkung am Dieselmotor

Die Wissenschaft bezeichnet mit «Katalysator» einen Stoff, der chemische Reaktionen herbeiführt und unterstützt, ohne sich selbst zu verändern. In der Motortechnik soll der Katalysator im Abgas enthaltene schädliche Komponenten in unschädliche umwandeln. Als Träger für den Katalysator dient ein zylindrischer,

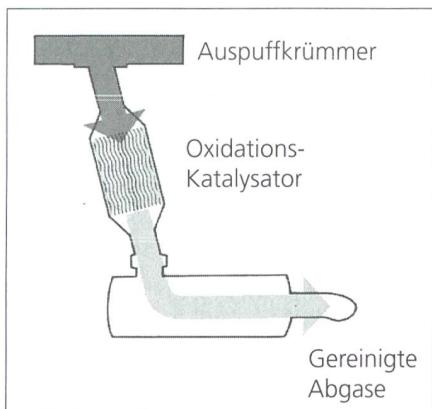


Abb. 2: Die Anordnung des Oxidationskatalysators am Traktor Fendt 250 V ist motornah. Hohe Abgastemperatur begünstigt die katalytische Wirkung.

wabenartiger Metallkörper. Als Katalysatormaterial kommen überwiegend Platin, Rhodium und Palladium in Frage. Das Edelmetall wird in sehr dünner Schicht auf die gesamte Oberfläche der vielen feinen parallelen Kanäle aufgebracht, die später von den Abgasen durchströmt werden (Abb. 2).

Inspiriert von den Erfolgen durch den geregelten Abgaskatalysator bei den Personewagen-Benzinmotoren wurde der Ruf nach Katalysatoren auch für Dieselmotoren laut. Doch merkte man bald, dass diese beim Dieselmotor nur Teilerfolge bringen können. Die heute bei den Benzinmotoren eingesetzten Katalysato-

ren sind sogenannte «geregelte Katalysatoren», die in der Lage sind, einerseits die Stickoxide (durch Luftmangel) zu reduzieren und andererseits Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe (durch Luftüberschuss) zu oxidieren. Diese vom Prinzip her gegensätzlichen chemischen Reaktionen laufen nur dann ab, wenn der Motor genauso viel Verbrennungsluft bekommt, wie er theoretisch exakt für die Verbrennung des zugeführten Treibstofes verbraucht (das heißt er hat Lambda «1»). Aus der dafür erforderlichen Regelung (auch Lambda-Regelung genannt) leitet sich der Begriff «geregelter» Katalysator ab. Prinzipbedingt arbeitet der Dieselmotor immer mit deutlichem Luftüberschuss, das heißt größer Lambda «1». Darum ist im Abgas freier Sauerstoff enthalten und eine Reduktion der Stickoxide nicht möglich. Übrig bleibt also die Funktion als Oxidationskatalysator, das heißt Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) im Abgas können oxidiert und damit deutlich verringert werden. Diese Oxidationsreaktionen sind stark temperaturabhängig. Sie beginnen erst oberhalb einer Abgastemperatur von etwa 120 bis 150 °C abzulaufen und erreichen ihren Maximalwert erst bei einer Abgastemperatur von etwa 300 bis 400 °C. Beim Dieselmotor hilft also der Oxidationskatalysator zur Oxidation von Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen (HC) im Abgas. Auch die an den Partikeln angelagerten, schweren

Kohlenwasserstoffe werden reduziert. Gleichzeitig wird aber der aus dem Treibstoff stammende Schwefel (SO<sub>2</sub>) oxidiert. Die Oxidation von SO<sub>2</sub> führt zu SO<sub>3</sub>, was unmittelbar Wasser anlagert und damit Schwefelsäure bildet. Dieser Problematik wird inzwischen von der Mineralölindustrie begegnet, in dem sie den Schwefelgehalt im Dieseltreibstoff auf nahe zu Null absenkt.

## Versuchsablauf

Der Versuchstraktor (siehe Tab. 1) steht seit 10. März 1990 auf einem Obstbau betrieb im Kanton Thurgau im Praxiseinsatz. Die Nachrüstung mit dem vom Traktorimporteur (GVS Schaffhausen) zur Verfügung gestellten Katalysator erfolgte am 24. Juni 1991. Alle technischen Messungen wurden auf dem Traktorenprüf stand der FAT durchgeführt.

- 10. März 1990  
Inbetriebnahme des neuen Traktors FENDT 250 V auf einem Obstbaubetrieb.
- 24. Juni 1991  
Nachrüstung des Traktors (772 Betriebsstunden) mit dem Abgaskatalysator.
- 17. Februar 1994  
Erste Leistungs-, Verbrauchs- und Abgasmessung am Prüfstand.  
(Betriebsstunden: Traktor 2300, Katalysator 1528).
- 29. November 1999  
Zweite Leistungs-, Verbrauchs- und Abgasmessung am Prüfstand.  
(Betriebsstunden: Traktor 5310, Katalysator 4538).

Die erste Messreihe erfolgte im Jahre 1994, weil erst zu diesem Zeitpunkt an der FAT eine Abgasmessanlage zur Verfügung stand. Die gemessenen Motorparameter beschränkten sich auf: Leistung an der Zapfwelle, Treibstoffverbrauch, die gasförmigen Abgase und die Abgastemperatur am Eingang des Oxidationskatalysators. Der Schwarzrauch wurde mit der BOSCH-Filtermethode unter Vollast gemessen.

Tab. 1: Der Versuchstraktor FENDT 250 V mit Oxidationskatalysator

<b>Traktor</b>	Fendt
Typ	Farmer 250 V
Motor	Deutz
Typ	F3L 912
Art	3-Zylinder-Dieselmotor mit direkter Einspritzung
Bohrung/Hub	100/120 mm
Hubraum	2827 cm <sup>3</sup>
Kühlsystem	Luftkühlung
Nennleistung	37 kW (50 PS)
Nenndrehzahl	2250 min <sup>-1</sup>
<b>Abgaskatalysator</b>	Oxidationskatalysator (wurde von GVS Schaffhausen zur Verfügung gestellt)
Fabrikat	Eberspächer
Typ	DC 473
Beschichtung	Platin
Preis	Wird vom Traktorhersteller zum Preis von Fr. 2513.– angeboten.

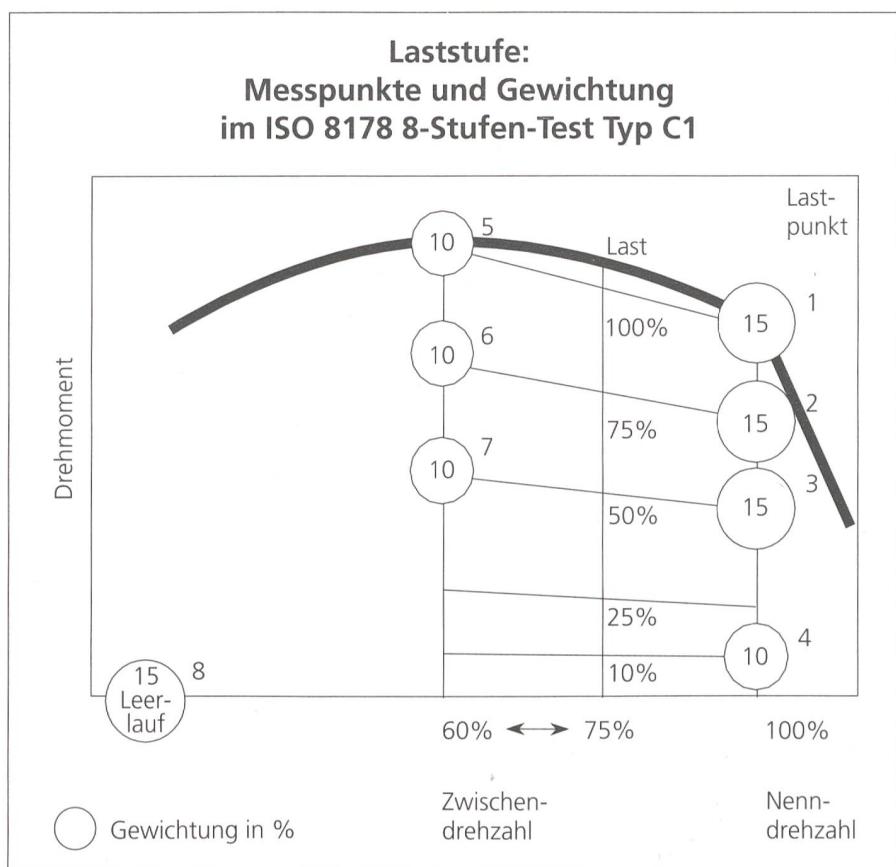


Abb. 3: Messzyklus ISO-8178 C1 (für Dieselmotoren). Der Messzyklus hat acht genau definierte, im Kennfeld des Motors verteilte Lastpunkte. Der Messzyklus gilt außer für Industriemotoren auch für land- und forstwirtschaftliche Traktoren und Maschinen.

auch für land- und forstwirtschaftliche Traktoren und Maschinen mit Dieselmotoren. Dieser Test wird auf einem Motorprüfstand gefahren und besteht aus acht, jeweils zehn Minuten dauernden, konstanten Drehzahlen und Lasteinstellungen des Motors. Bei jeder dieser Drehzahl-Laststufen wird nach einer festgelegten Stabilisierungszeit die Abgas-konzentration (ppm) der gasförmigen Schadstoffe gemessen.

### Abgasmessung und Berechnung

Die gasförmigen Motorabgase, die sogenannten «limitierten Emissionen» Kohlenwasserstoffe (HC), Stickoxide (NOx) und Kohlenmonoxid (CO) werden entsprechend den Regelungen ISO 8178 mit der Messanlage PIERBURG AMA 2000 gemessen. Um aus den gemessenen Konzentrationen in (ppm) die absolute Rohemissionsmenge (in g/h) zu berechnen, muss der genaue Abgasstrom bekannt sein, der aus Ansaugluftmenge und Treibstoffmenge besteht. Diese Emissionsmenge, mit dem Gewichtungsfaktor umgerechnet und auf die gemessene und ebenfalls gewichtete Leistung bezogen, stellt den gesuchten Emissionsfaktor in g/kWh des entsprechenden Messzyklus dar. Ergänzend zur Abgasmessung wurde die Abgastemperatur am Eingang zum Abgaskatalysator mit aufgezeichnet.

### Abgasmessungen (Messmethode)

#### Abgasmesszyklus ISO-8178 C1<sup>1)</sup> (für Off-Road-Dieselmotoren)

Die Zusammensetzung und die Menge des Abgases verändern sich je nach Motorbetriebspunkt, das heißt je nach Schadstoffart kann die Emissionsmenge um das Mehrfache variieren. Ebenso hängen die Abgastemperatur und damit verbunden die Wirksamkeit des Oxidationskatalysators wesentlich vom Motorbetriebspunkt ab. Die Messergebnisse sind deshalb nur dann vergleichbar, wenn immer derselbe Messablauf verfolgt wird. In diesem Versuch kam ein Acht-Stufen-Messzyklus mit der Bezeichnung ISO-8178 Typ C 1, für «Off-Road»-Fahrzeuge zur Anwendung (Abb. 3, Messzyklus). Laut Beschreibung gilt der Messzyklus Typ C 1, nebst Motoren für verschiedene industrielle Anwendungen,

Tab. 2: Die wichtigsten auf dem Prüfstand gemessenen Eckwerte

		1. Messung	2. Messung
Traktorbetriebsstunden	h	2300	5310
Katalysatorbetriebsstunden	h	1528	4538
Zapfwellenleistung Bei Nenndrehzahl (2260 min <sup>-1</sup> )	kW	32,5	33,2
Spez. Treibstoffverbrauch	g/kWh	274,6	268,8
Max. Drehmoment	Nm	161/1300	166/1300
Drehmomentanstieg	%	16,5	17,9
Motorabgase (Emissionsfaktor) gemessen nach ISO-8178, C1			
Messung vor Katalysator			
Kohlenwasserstoffe (HC)	g/kWh	1,46	1,20
Stickoxide (NOx)	g/kWh	10,84	11,92
Kohlenmonoxid (CO)	g/kWh	4,84	4,03
Messung nach Katalysator			
Kohlenwasserstoffe (HC)	g/kWh	0,77	0,66
Stickoxide (NOx)	g/kWh	10,65	11,40
Kohlenmonoxid (CO)	g/kWh	1,85	1,57
Schwarzrauch (Messung nach Katalysator)			
95 % Drehzahl (2135 min <sup>-1</sup> )	SZ	3,3	3,0
70 % Drehzahl (1575 min <sup>-1</sup> )	SZ	4,4	4,8
Max. Drehmoment (1300 min <sup>-1</sup> )	SZ	4,5	5,7

1) Internationaler Standard zu Messung der gasförmigen Emission auf dem Prüfstand

### Schwarzrauchmessung BOSCH-Filtermethode

Bei der BOSCH-Filtermethode wird ein bestimmtes Abgasvolumen aus dem Abgasrohr mit einer Pumpe durch ein Filterpapier abgesaugt. Das geschwärzte Filterpapier wird unter eine Photozelle mit Lampe gelegt, gemessen werden die Schwarzrauchzahlen SZ 0 bis 10. Die Schwarzrauch-Messung erfolgt unter Vollast des Motors in den Stufen 95 %, 70 % der Nenndrehzahl und bei der Drehzahl, wo der Motor das grösste Drehmoment entwickelt.

### Messresultate

#### Leistungs- und Verbrauchsverhalten

Sowohl die Motorleistung als auch der Treibstoffverbrauch werden durch den nachträglichen Einbau eines Oxidationskatalysators nicht beeinflusst. Zwischen Messung 1 (1994) und Messung 2 (1999) (Tab. 2) verbesserte sich im Bereich der Nenndrehzahl sowohl Leistung als auch der spezifische Treibstoffverbrauch geringfügig, 2,2 % mehr Leistung bei 2,9 % weniger Verbrauch. Diese Abweichungen können mit leichten Veränderungen an der Einspritzanlage begründet sein und liegen im üblichen Rahmen. Im Weiteren kam in Messung 2 nicht der gleiche Treibstoff zum Einsatz wie fünf Jahre zuvor in Messung 1. Dies gilt übrigens auch für die Abgasmessungen.

#### Einfluss des Motorbetriebspunktes auf die Abgase

Die Konzentration der Schadstoffe in den Rohemissionen im Auspuff hängen stark von der Motordrehzahl und Belastung bzw. der innermotorischen Verbrennung (Abgastemperatur) in den einzelnen Messpunkten ab. Dabei ändert sich die Konzentration je nach Schadstoffart um das Mehrfache. Abbildung 4 zeigt die Schadstoffkonzentration gemessen vor und nach Katalysator, in den einzelnen Laststufen im Test.

#### Die Messwerte vor Katalysator in den acht Laststufen ISO-8178 C1

Während die unverbrannten Kohlenwasserstoffe (HC) mit sinkender Belastung

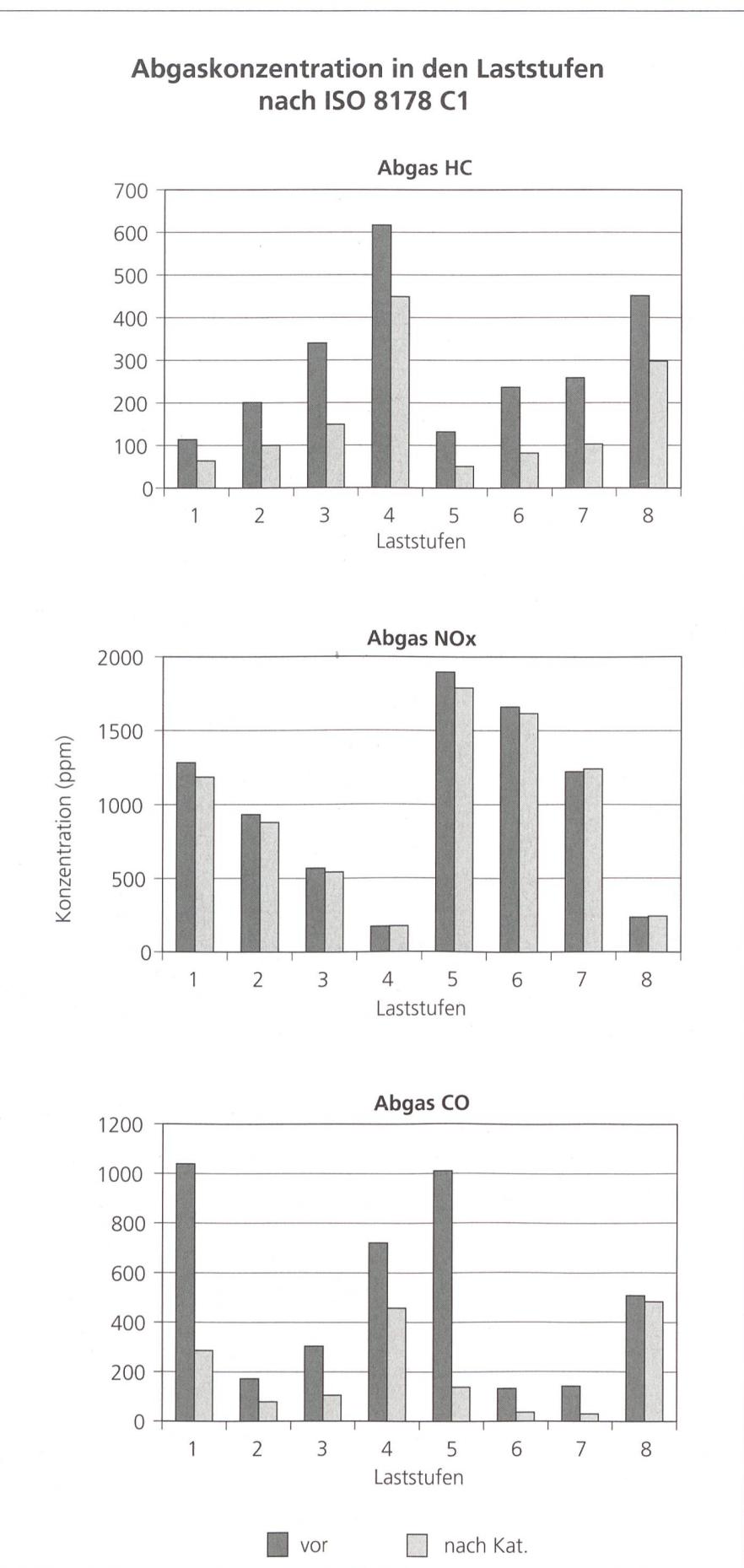


Abb. 4: Abgaskonzentration gemessen vor/nach Katalysator in den acht Laststufen.

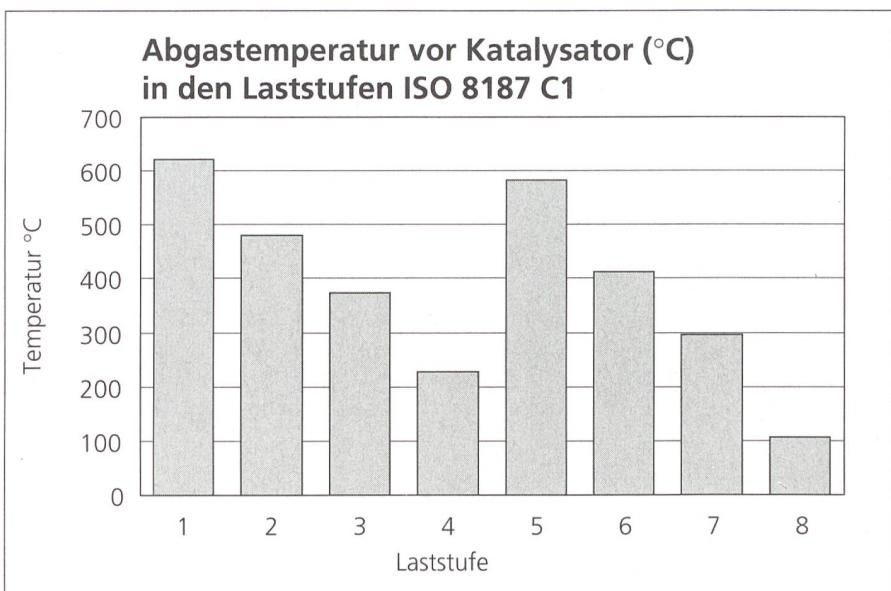


Abb. 5: Abgastemperaturen gemessen vor Katalysator in den acht Laststufen.

massiv ansteigen (Messpunkte 1 zu 4 und 5 zu 8), fallen die Stickoxide (NOx) genau gegenläufig rasch ab. Die Konzentration der Stickoxide ist stark von der Abgastemperatur abhängig (vgl. Abb. 5). Hohe Konzentrationen von Kohlenmonoxid (CO) messen wir vor allem bei grosser und sehr kleiner Last (Messpunkt 1, 4, 5 und 8). Dazwischen, bei mittlerer Belastung (Messpunkt 2, 3, 6 und 7) sind die CO Konzentrationen dagegen tiefer.

#### Die Messwerte nach Katalysator in den acht Laststufen ISO-8178 C1

Wie eingangs erklärt, hat der Katalysator auf die Stickoxide kaum eine reduzierende Wirkung. Der Grund liegt beim überschüssigen Sauerstoff im Abgas. Dagegen bleibt die oxydierende Wirkung beim Kohlenmonoxid (CO) und bei den Kohlenwasserstoffen (HC). Diese hängt wiederum von der Abgastemperatur ab. Die gemessenen Abgastemperaturen vor Katalysator (Abb. 5) ist in den hohen Belastungspunkten, Messpunkt 1 und 5 mit etwa 600 °C am höchsten, im unteren Leerlaufpunkt, Messpunkt 8, mit etwa 100 °C am tiefsten. Die Anspringtemperatur des Katalysators liegt je nach Schadstoff bei 120 bis 150 °C. Optimale Wirkung erreicht er erst bei einer Abgastemperatur oberhalb etwa 300 °C. Das Temperaturverhalten ist klar ersichtlich. Während das CO in den Lastpunkten 1 und 5 um 80 bis 90 % reduziert wird, geschieht im Lastpunkt 8 (unterer Leerlauf) praktisch nichts (Abb. 4). Die Konvertierung beim HC liegt je nach Last-

punkt zwischen 30 bis 70 %, abhängig von der Abgastemperatur, die schlechten Werte bei den Messpunkten 4 und 8. Trotzdem scheinen die besonders geruchsintensiven Aldehyde so weit abgebaut zu sein, dass sich das Bedienungspersonal weniger durch beissenden Dieselgeruch belästigt fühlt.

#### Die spezifischen Abgaswerte (Emissionsfaktor) im Messzyklus ISO-8178 C1

Zur Beurteilung von Wirksamkeit und Langzeitverhalten des Katalysators über die Betriebsjahre ziehen wir die spezifischen, aus dem Fahrzyklus ISO-8178 C1

berechneten Abgaswerte heran (Abb. 6). Erwartungsgemäss tritt bei den Stickoxiden (NOx) praktisch keine Veränderung ein. Dagegen lassen sich die Kohlenwasserstoffe (HC) auf nahezu die Hälfte, jene des besonders giftigen Kohlenmonoxids (CO) auf unter 40 % reduzieren. Mit oder ohne Katalysator erfüllt der gemessene Traktor die in Zukunft für neue Traktormotoren geltenden Abgasgrenzwerte, nach Regelung ECE-R96/68, die beim HC 1,3 g/kWh, beim NOx 9,2 g/kWh und beim CO 5,0 g/kWh als obere Limite setzen, nur teilweise. Natürlich müssen die vorliegenden Werte, verglichen mit den Lambda-geregelten Abgaskatalysatorsystemen von Benzinmotoren in den Personenwagen, wo Abgasminderungen von 90 % und mehr erreicht werden, noch als bescheiden bezeichnet werden.

Das Langzeitverhalten des Katalysators (Abb. 7) kann als hervorragend gelten. Die kleinen Veränderungen bezüglich Wirksamkeit zwischen Messung 1 im Jahre 1994 und Messung 2 im Jahre 1999, bzw. nach insgesamt 4538 Betriebsstunden, sind unbedeutend. Sie liegen im Bereich der Messgenauigkeit.

#### Schwarzrauch SZ (Bosch)

Der Katalysator wirkt nicht wie ein Russfilter. Erwartungsgemäss konnten wir zwischen der Messung vor und nach Katalysator keine Unterschiede bei der Schwärzungszahl feststellen. In der Tabelle 2 sind aus diesem Grunde nur die Messwerte nach Katalysator angegeben.

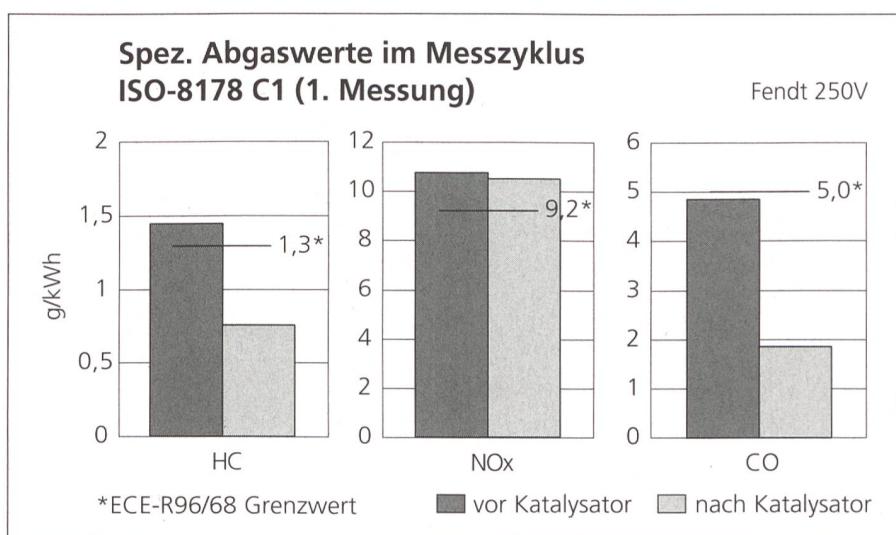


Abb. 6: Die spezifischen Abgaswerte vor/nach Katalysator gemessen nach Regelung ISO-8178 C1.

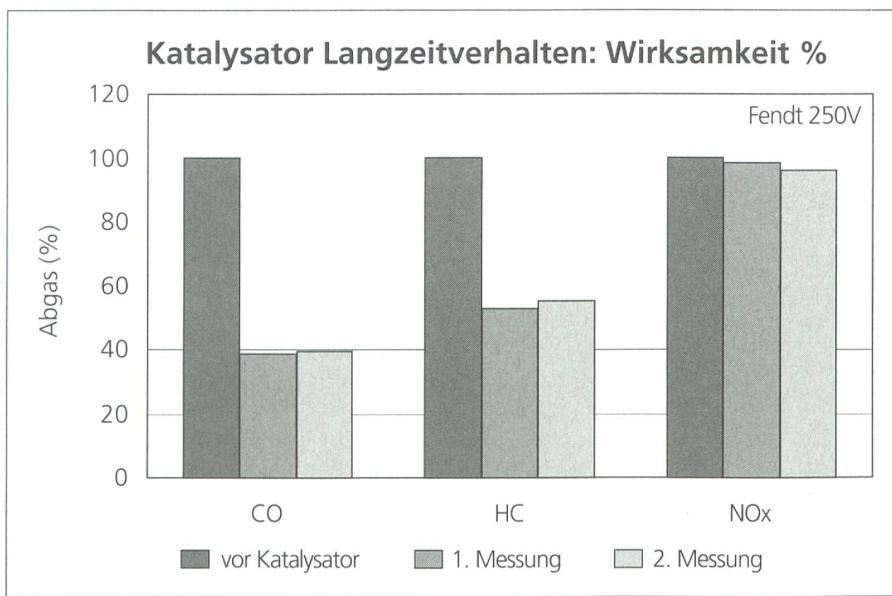


Abb. 7: Test über das Langzeitverhalten des Oxidationskatalysators. Messung 1 nach 1528 Betriebsstunden, Messung 2 nach 4538 Betriebsstunden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Eine vergleichsweise einfache Aufgabe stellt die Abgasnachbehandlung beim Benzinmotor mit ausschliesslichem stöchiometrischem Betrieb dar. Sobald aber im Magerbereich, wie das beim Dieselprinzip der Fall ist, gearbeitet wird, reicht der Dreiweg-Katalysator zur Abgasreinigung nicht mehr aus. Bei Sauerstoffüberschuss herrschen zwar günstige Bedingungen für die Oxidation von Kohlenwasserstoffen (HC) und Kohlenmonoxide (CO), für die Reduktion der Stickoxide stehen aber keine Reaktionspartner mehr zur Verfügung. Die vorliegende Untersuchung, durchgeführt an einem Obstbautraktor, ergab folgende Resultate: Im Messzyklus ISO-8178 C1 konnten die Emissionsfaktoren von Kohlenmonoxid (CO) auf nahezu 50 %, jene der unverbrannten Kohlenwasserstoffe (HC) auf weniger als 40 % reduziert werden. Das Fahrpersonal bestätigt, dass auch der subjektiv wahrnehmbare

Dieselgeruch der Abgase als weit weniger lästig empfunden wird. Am gemessenen Schwarzrauch (Russpartikel) und den Stickoxiden (NOx) war keine Verbesserung feststellbar. Das Problem der Abgasnachbehandlung besteht also nebst den Russpartikeln weiterhin in den ausgestossenen NOx-Emissionen. Die technische Entwicklung bei den Traktormotoren zielt in Zukunft denn auch weniger auf Abgasnachbehandlung, sondern viel mehr auf die Verbesserung der Abgase durch innermotorische Massnahmen ab. Sie betreffen vor allem den Verbrennungsraum, den Ladungswechsel und die Treibstofffeinspritzung. Der Trend zum Turbodiesel mit Ladeluftkühlung und Hochdruckeinspritzung wird sich weiter verstärken. Fazit: Für besondere Traktoreinsätze, wie zum Beispiel in wenig durchlüfteten Gebäuden, Treibhäusern und Obst-Weinkulturen, kann der Abgaskatalysator als einfach nachzurüstende und rasch wirkende Massnahme zur teilweisen Reduktion von schädlichen Motorabgasen und lästigem Dieselgeruch eine gewisse Entlastung für das Fahrpersonal bringen.

## Literatur

Scheidegger W., 2000. Strategie der Suva zu den DME im Untertagebau. Tagungsband: Aktive Schadstoffminderung im «Off-road» Bereich.

Tritthart P., 1980. Ein Beitrag zum Geruch der Abgase von Dieselmotoren. MTZ Motortechnische Zeitschrift 41 (2), 59–64.

## Weitere Berichte zum Thema:

FAT-Berichte Nr. 427

**Rapsmethylester als Traktortreibstoff**  
Einführung möglich

FAT-Berichte Nr. 521

**Neue Dieseltreibstoffe**

Richtungsweisende ökologische Entwicklung