

**Berufsgenossenschaftliches
Institut für Arbeitssicherheit**

Hauptverband der gewerblichen
Berufsgenossenschaften e. V.

***Abgasemissionen aus Dieselmotoren von Gabelstaplern
Bericht Nr. 90 01252*****1 Aufgabenstellung**

Beim Betrieb von Flurförderzeugen mit Dieselmotoren, z. B. Gabelstapler, werden Dieselabgase emittiert, die je nach Betriebsbedingungen zu einer mehr oder weniger starken Exposition der Beschäftigten gegenüber Dieselabgas führen können.

Zur Reduktion der Emissionen können Dieselpartikelfilter (DPF) für Ruß oder DPF mit zusätzlichem Katalysator eingesetzt werden.

DPF ohne Katalysator reduzieren lediglich die Emissionen der Rußpartikel. Bei der motorischen Verbrennung entstehende Gase wie Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) können durch einen zusätzlichen Oxidationskatalysator verringert werden. Eine Verminderung der ebenfalls entstehenden Stickoxide kann wegen der überstöchiometrisch ablaufenden Verbrennungsreaktion, nicht erreicht werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden Wirkungsgrade eines DPF mit Katalysator für Dieselmotoren ermittelt. Zu diesem Zweck wurde ein DPF der Fa. GfA, Eltville am Rhein unter praxisnahen Einsatzbedingungen untersucht.

2 Untersuchungsobjekte

♦ Dieselpartikelfilter DPF mit Oxidationskatalysator

Zur Verringerung der Emission wurde ein Dieselpartikelfilter mit Oxidationskatalysator eingesetzt.

Bauart und Funktionsweise sind in Anlage 1 beschrieben.

Das Filter war zum Zeitpunkt der Untersuchungen nach Hersteller-/Betreiberangabe ca. 600 Stunden in Betrieb.

3 Durchführung der Untersuchungen

Die Untersuchungen zu den Wirkungsgraden des DPF wurden in einem Raum mit den Abgasmessungen (6 x 2,4 x 2,3) m³ durchgeführt.

Die Dieselabgase aus dem Gabelstapler wurden mittels einer speziellen Abgasleitung in den Raum, in dem sich die Probenahmestellen für die Ruß- und Gasmessungen befanden, eingeleitet.

♦ Zur Ermittlung der Motoremission ohne DPF (Rohabgas) wurde das Abgas direkt vom Motor über ein Drosselventil in den Raum geleitet. Das Drosselventil ermöglichte die Einstellung des gleichen Abgasgegendrucks wie beim Betrieb mit DPF.

Der Abgasgegendruck lag bei ca. 150 mbar.

Technische Angaben zu dem eingesetzten Gabelstapler:

Hersteller:	Fa. Hyster
Typ:	H 3.00 JS
Tragfähigkeit:	3.000 kg
Antrieb:	Dieselmotor Perkins 4.203.2
	4 Zylinder, Hubraum 3330 cm ³
	44 KW bei 2800 min ⁻¹

3.1 Versuchsbeschreibung

Zur Ermittlung des Filterwirkungsgrades wurden Versuchszyklen nach folgendem Schema durchgeführt:

1. Einschalten der Meßgeräte.
2. Schließen der Türen des Raumes.
3. Anlassen des Dieselmotors und direkt anschließend für 10 sec Belastung des Motors gegen die Hydraulik (Vollast).
4. 20 sec Leerlauf.
5. 10 sec Last.
6. Wiederholung der Punkte 4 und 5 bis insgesamt 10 Last-Leerlauf Zyklen durchfahren sind (incl. Pkt. 3).
7. Öffnen der Türen und Abschalten der Probenahmegeräte.

Der gesamte Versuchszyklus dauerte ca. 5,5 min. Vor Beginn des folgenden Zyklus wurde der Raum ausreichend belüftet. Bei Versuchen ohne DPF (Rohabgas-Versuche) wurden die Sammelphasen für Ruß und Gase nach einem Versuchszyklus entnommen. Bei Versuchen mit DPF wurden die Versuchszyklen insgesamt 5 mal hintereinander durchgeführt, wobei für die Probenahme von Ruß, Benzo [a] pyren, Aldehyden und sauerstoffhaltigen HC-Verbindungen jeweils eine Sammelphase für die 5 Versuchszyklen zum Einsatz kam. Damit wurde versucht, eine analytische Bestimmung der jeweiligen Stoffe auch bei den zu erwartenden geringen Massen zu ermöglichen.

3.2 Ermittlung der Meßgrößen

♦ Rußmessugen

Zur Bestimmung der Rußmasse wurden Luftproben mit einem Feinstaubprobenahmegerät MPG II bei einem Volumenstrom von 2,8 m³/h genommen.

Als Sammelphasen für Ruß wurden Meßfilter eingesetzt.

Die Meßfilter waren bei 550 °C vorgeglühte Glasfaserfilter der Fa. Macherey und Nagel MN 85/90 BF 47 mm.

Die Rußanalyse erfolgte im BIA-Labor, Sankt Augustin, mit Hilfe Der coulometrischen Kohlenstoffbestimmung.

♦ Gasmessungen

Die gasförmig emittierten Stoffe wurden teilweise mit anzeigenden Geräten kontinuierlich gemessen und teilweise auf Sammelphasen Gesammelt.

1. Anzeigende Geräte:

Kohlenmonoxid CO:	Infrarot-Photometer Leybold BINOS 0 - 50 ppm, 0 - 500 ppm
Kohlendioxid CO ₂ :	Infrarot-Photometer ADC RFA 0 - 0,1 %, 0 - 1 %, 0 - 5 %
Summe organischer Kohlenwasserstoffe HC:	Flammenionisationsdetektor FID BA 3005 Bernath Atomic 0 - 10 ppm bis 0 - 10 ⁵ ppm dekadisch unterteilt Kalibration erfolgte mit Propan
Stickstoffoxide NO/NO ₂ :	Chemilumineszens-Analysator Tecan CLD502 0,5 - 5000 ppm und 1 - 10000 ppm jeweils dekadisch unterteilt

Die Meßsignale der anzeigenden Geräte wurden kontinuierlich mit Linienschreibern registriert.

2. Probenahme auf Sammelphase

Aldehyde : Du Pont Pumpe P 4000 20 l/h
Sammelphase imprägnierte Glasfaserfilter
Analysenverfahren:
Hochleistungs-Flüssigchromatographie

Lösemittel : Du Pont Pumpe P 4000 20 l/h
Sammelphase Aktivkohle Typ B
Analysenverfahren:
Gaschromatographie

Benzo[a]pyren (BaP): Ströhlein VC 25 G
Sammelphase Glasfaserfilter
MN 85/90 BF 150 mm
Analysenverfahren:
Dünnschichtchromatographie

Die Analyse der Sammelphasen erfolgte im BIA-Labor, Sankt Augustin.

4 Untersuchungsergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle sind die Meßergebnisse aus den Untersuchungen aufgelistet.

Alle Angaben in der Tabelle 1 beziehen sich auf einen Versuchszyklus.

Somit lassen sich die Ergebnisse direkt in Beziehung zueinander setzen.

Die Ergebnisse für HC, CO, CO₂, NO und NO₂ stellen Maximalwerte am Ende der jeweiligen Versuchszyklen dar.

Tabelle 1: Meßergebnisse 1

Versuchszyklus Nr.	Stoffkonzentration (Mittelwerte für einen Versuchszyklus berechnet) S a m m e l p h a s e n						anzeigende Geräte			
	Ruß mg/m ³	BaP µg/m ³	Formaldehyd HCHO mg/m ³	Acetaldehyd mg/m ³	2-Propenal mg/m ³	HC ppm	CO ppm	CO ₂ %	NO ppm	NO ppm
1 - 4 Rohabgas	16,6*)	0,25	0,93	1,34	0,35	17	120	1,5	75	8
mit DPF										
5.1 - 5.5	0,75	<0,001	0,21	0,13	< 0,05	2	7	1,4	65	10
6.1 - 6.5	0,85	<0,001	0,11	<0,1	< 0,05	<1	3	1,4	70	12
7.1 - 7.5	-	<0,001	0,19	0,12	< 0,05	<1	6	1,3	60	11
8.1 - 8.5	-	<0,001	0,29	0,18	0,06	5	11	1,5	75	17

*) nur die Versuche 2 und 3 wurden zur Mittelwertbildung herangezogen.

4.1 Ermittlung des Filterwirkungsgrades

Die Berechnung des Filterwirkungsgrades η_F erfolgt nach folgender Formel:

$$\eta_F = \frac{R_0 - R_F}{R_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

R_0 Stoffkonzentration ohne DPF (Rohabgas),
arithmetisches Mittel der Stoffkonzentrationen aus den
Versuchen 1 - 4 (siehe Tabelle 1)

R_F Stoffkonzentration mit DPF, arithmetisches
Mittel der Stoffkonzentrationen aus den Versuchen
5.1 - 8.5 (Siehe Tabelle 1)

Die Werte für R_0 und R_F sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Messergebnisse 2

S a m m e l p h a s e n						anzeigende Geräte	
Versuchszyklus Nr.	Ruß mg/m ³	BaP mg/m ³	Formaldehyd mg/m ³	Acetaldehyd mg/m ³	2-Propenal mg/m ³	HC ppm	CO ppm
1 - 4 Rohabgas R_0	12,6*)	0,25	0,93	1,3	0,35	17	120
5.1 - 8.5 mit DPF R_F	0,71	<0,001	0,20	0,13	<0,05	2	7

*) nur die Versuche 2 und 3 wurden berücksichtigt

Die nachfolgende Tabelle enthält die emittierten Filterwirkungsgrade.

Tabelle 3: Filterwirkungsgrad

Ruß	BaP	Formaldehyd	Acetaldehyd	2-Propenal	HC	CO
94 %	≥ 99 %	78 %	90 %	≥ 86 %	> 88 %	94 %

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

♦ Rußfilterwirkungsgrad

Der Wirkungsgrad im Bezug auf Rußpartikel lag für das DPF bei 94 %.

Die Verminderung des Benzo[a]pyren, der als Repräsentant der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) ausgewählt wurde, lag bei ≥ 99 %

♦ Katalysatorwirkungsgrad

Der Katalysator oxidiert Kohlenmonoxid CO zu Kohlendioxid CO₂ und Kohlenwasserstoffe zu CO₂ und Wasser.

Bei der Gruppe der Kohlenwasserstoffe HC wurden die Summe aller HC-Verbindungen, aliphatische und aromatische sauerstoffhaltige HC-Verbindungen (Ester, Ketone u.a.) sowie Aldehyde untersucht.

Für die Summe aller HC-Verbindungen wurde ein Katalysatorwirkungsgrad von $\geq 88 \%$ ermittelt.

Die Konzentrationen sauerstoffhaltiger HC-Verbindungen lagen sowohl beim Betrieb ohne als auch mit DPF unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenzen. Eine Aussage über das Vorhandensein dieser Stoffe bzw. über einen Katalysatorwirkungsgrad kann daher nicht gemacht werden.

Für die Aldehyde wurde mit DPF eine Verringerung der Konzentrationen um ca. 85 % festgestellt.

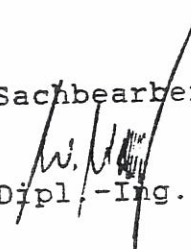
Kohlenmonoxid wurde durch das untersuchte DPF um ca. 94 % reduziert.

Aussagen über die Höhe der Emissionen während eines Abreinigungsverganges sowie Angaben über die Standzeit des DPF, insbesondere im Bezug auf die Katalysatorwirkung, können aufgrund der vorliegenden Untersuchung nicht gemacht werden.

Sankt Augustin, den 21.06.90
Kln/Weg/By
im Auftrag

gez. Dr.-Ing. H. Kleine

Sachbearbeiter


Dipl.-Ing. W. Wegscheider

Anlage 1

DPF-System mit Regeneration durch Kraftstoffzusatz auf Eisenbasis

DPF = Diesel-Partikel-Filter

Nachstehend eine kurze Erläuterung des DPF-Systems sowie der Wirkungsweise des Additivs.

Der Dieseldieselrußfilter - bestehend aus einer Cordieritkeramik - wird von der Firma Corning hergestellt. Die Verpackung und das Additiv-System (Regenerationssystem) wurden von der Firma GfA entwickelt.

Dem DPF ist ein Oxidations-Katalysator nachgeschaltet. Dieser vermindert (je nach Abgastemperatur) die Emissionen der im Dieseldieselabgas enthaltenen gasförmigen oxidierbaren Stoffe.

Der DPF filtert die Rußpartikel im Gasstrom. Der auf den keramischen Wandungen angelagerte Ruß verbrennt automatisch, d.h. der Filter regeneriert sich, so daß er ohne Ausbau zwecks Reinigung im Fahrzeug belassen werden kann. Bei Ablagerung der Rußpartikel wird sich der Gegendruck im Abgasstrom leicht erhöhen. Dies wird jedoch wieder auf ein Normalmaß gebracht durch die Regeneration der Rußpartikel. Normalerweise verbrennen Rußpartikel bei 800 °C. Da diese Temperatur jedoch nur sehr selten im Fahrzyklus des Dieselmotors erreicht wird, muß zur Regeneration ein Additiv zugefügt werden, das wie ein Katalysator wirkt. Dieses Additiv wird der Kraftstoffleitung vor der Einspritzpumpe zugefügt, in Form einer Dosieranlage mit einer zeitgeschalteten Pumpe. Durch die Verbrennung im Motorraum wird dieses Additiv umgeformt zu einem Katalysator, der sich gleichzeitig mit den Rußpartikeln verbindet. Das Additiv selbst ist auf einer Eisenoxiddbasis aufgebaut (siehe Sicherheitsdatenblatt Anlage 2).