

Abgasschadstoffe von Dieselmotoren im Tunnelbau

Bulletin 4: Felderprobung von Russfiltersystemen

1. Zielsetzung

Im Rahmen des Projektes VERT soll der Nachweis erbracht werden,

- dass sich heute bereits verfügbare Abgas-Nachbehandlungssysteme für die Nachrüstung von Dieselmotoren im Tunnelbau eignen,
- dass die Schadstoffemission der Motoren damit an der Quelle nachhaltig vermindert wird und
- dass die Ziele für die Reinheit der Atemluft am Arbeitsplatz (MAK-Werte) ohne weitere Steigerung der Belüftung mit Sicherheit eingehalten werden [1].

Editorial

Dieselmotoren sind wegen ihrer Wirtschaftlichkeit, Leistungsdichte und Zuverlässigkeit aus dem Tunnelbau nicht wegzudenken. Ihre Schadstoffemission, insbesondere der Ausstoss gesundheitsschädigender Feinstpartikel (DME*), ist aber so hoch, dass der dafür seit 1994 gültige MAK-Grenzwert* im Tunnel auch mit zusätzlicher Belüftung häufig nicht eingehalten werden kann. Nur eine Reduktion der Emissionen an der Quelle durch Abgasnachbehandlung kann kurzfristig Abhilfe schaffen.

VERT hat durch ausführliche Prüfstandsversuche gezeigt, dass solche, auch für den Tunnelbau geeignete Systeme verfügbar sind. Die Stunde der Wahrheit aber schlägt im Feldeinsatz. Neun Baumaschinen wurden mit einer repräsentativen Auswahl von Filtern mit unterschiedlichen Regenerationssystemen nachgerüstet. Diese sind seit Ende 1995 im Einsatz und werden während eines Jahres durch die zuständigen Instanzen der Suva (Schweiz), AUVA (Österreich) und TBG (Deutschland) überwacht. Das für die Luftreinhaltung in der Schweiz zuständige Bundesamt BUWAL verfolgt die Ergebnisse dieses Versuches im Hinblick auf die erweiterte Anwendung solcher Abgasnachbehandlungssysteme im gesamten Off-road-Bereich.

AUVA, Suva, TBG

VERT steht für **V**erminderung der **E**missionen von **R**ealmaschinen im **T**unnelbau. „Realmaschinen“ meint die bereits heute im Feld betriebenen Motoren, also nicht Zukunftsentwicklungen. Über die Ziele des VERT-Projektes informiert VERT-Bulletin 1, über die Auswahl von Dieselpartikelfiltern und Regenerationsverfahren Bulletin 2. Bulletin 3 ist dem Thema „Tunnelbelüftung oder Abgasnachbehandlung?“ gewidmet.

*DME gelten als krebserzeugend. Für diese Stoffgruppe gilt grundsätzlich ein absolutes Minimierungsgebot.

Die Ergebnisse der Prüfstandsphase 1994/95 [2] waren sehr ermutigend, alle getesteten Filter zeigten Abscheidegrade von 90% und mehr. Der Praxiseinsatz einer Baumaschine lässt sich aber am Prüfstand nicht simulieren – nur ein Feldeinsatz kann Beurteilungsgrundlagen dafür liefern, ob sich ein Abgasreinigungssystem für diese Einsätze eignet.

Es wurde daher der Beschluss gefasst, eine repräsentative Auswahl von Filtern und Regenerationssystemen in einer einjährigen Felderprobung zu beobachten, um daraus verbindliche Schlussfolgerungen für deren Eignung im Tunnelbau abzuleiten.



Bild 1: Ein mit einem DSI-Russfilter ausgerüsteter Radlader Caterpillar 966 F im harten Einsatz in einem Steinbruch.

2. Einbau/Umrüstung

Baumaschinen sind teure Grossgeräte. Für die Nachrüstung mit Russfiltern müssen deshalb folgende Bedingungen erfüllt werden:

- keine wesentlichen Ausfallzeiten
- geringe bauliche Änderungen
- Erhaltung aller betrieblichen Funktionen
- keine Verschlechterung der Sichtverhältnisse
- keine Zunahme der Geräuschemission.

Die meisten der ausgewählten Russfilter entsprechen in ihrer Grösse etwa den Schalldämpfern. Sie nehmen deren Platz im Gerät ein und reduzieren die Geräuschemission in Höhe und Frequenzgang in ähnlicher Weise, in einigen Fällen konnte sogar eine Verbesserung der Lärmwerte erzielt werden.

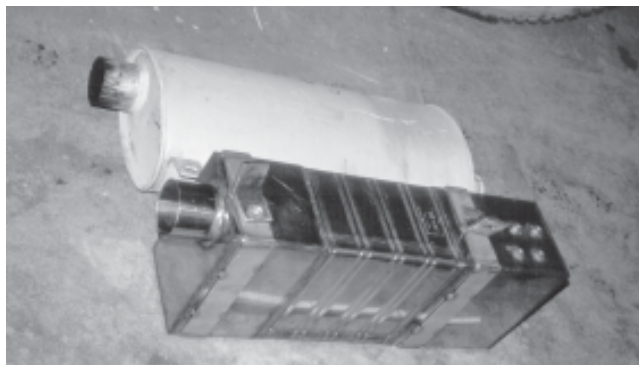


Bild 2: Russfilter SHW (oben) im Vergleich zum Original-Schalldämpfer des LIEBHERR-Baggers A912 (unten).

3. Filter

Für die Feldversuche wurde auf der Grundlage der Motorprüfstandsversuche an der Ingenieurschule Biel eine repräsentative Auswahl heute verfügbarer Filtermedien getroffen:

● **Keramisch-monolithische Zellenfilter:** Hersteller NGK und Corning, Material: Cordierith. Die Zellengeometrie ist einheitlich 2x2mm. Diese Filter sind als Oberflächenfilter zu betrachten. Die Porositätsstruktur ist unterschiedlich. ECS, DSI und UNIKAT sind vertreten. Diese keramischen Zellenfilter sind weltweit breit erprobt. Ihr Problem ist die Bruchgefahr durch Thermoschockbelastung infolge der hohen Temperaturen, die beim unkontrollierten Abbrennen des gespeicherten Russes entstehen können. Durch sorgfältig geführte Regeneration müssen diese Spannungen auf ein zulässiges Mass gemildert werden.

● **Metallsinterfilter,** System SHW. Ebenfalls ein Oberflächenfilter, der im Aufbau dem keramischen Zellenfilter ähnelt, aber aus metallischen Werkstoffen besteht. Er ist daher schwerer, jedoch weniger anfällig für Wärmespannungen.

● **Keramik-Faserfilter** in Form eines Gestrückes, System BUCK. Ein Tiefenfilter, der besonders gute Abscheide-Eigenschaften für Feinstpartikel aufweist. Sein Bauvolumen ist allerdings etwas grösser als das der keramischen und metallischen Zellenfilter.

● **Keramik-Faserfilter** in Form eines Geflechtes, System HUG.

Der in vorgeschalteten Prüfstandsversuchen ebenfalls untersuchte Faserwickelfilter von 3M kam leider mangels Verfügbarkeit für die gewählte Motorengrösse im Feldversuch nicht zum Einsatz.

4. Regenerationsmethoden

Auch bezüglich der Regenerationsmethoden wurde eine dem Stand der Technik entsprechende Auswahl getroffen:

● **Vollstrom-Dieselmotor,** System DSI, sind in zwei Geräten im Einsatz, jeweils in Verbindung mit keramischen Zellenfiltern. Das System ist relativ aufwendig, aber vollautomatisch, ausgereift und umfangreich erprobt.

● **Periodische elektrische Regeneration** wird im System UNIKAT angewendet. Die Filter speichern den Russ über eine volle Arbeitsschicht und müssen daher entsprechend gross ausgelegt werden. Sie werden in der Regel einmal täglich am elektrischen Netz während einiger Stunden vorsichtig freigebrannt. Auch wenn diese Prozedur für den Einsatz im Tunnel zusätzlichen organisatorischen Aufwand mit sich bringt, spricht doch manches für dieses bereits weitgehend ausgereifte System.

● **Brennstoff-Additive:** Sowohl beim keramischen Zellenfilter ECS als auch beim Metall-Sinterfilter SHW und einigen Faserfiltern werden diese passiven Regenerationsmethoden untersucht. Drei Additive sind in Erprobung:

- * EOLYS, DPX 9 von Rhône-Poulenc
ca. 150 mg Cer pro Liter Dieseldieselkraftstoff
- * Ferrocen, DF60 von PLUTO
ca. 18 mg Eisen pro Liter Dieseldieselkraftstoff
- * OS 960401 von LUBRIZOL
ca. 50 mg Kupfer pro Liter Dieseldieselkraftstoff

Die Methode der kontinuierlichen Beimengung dieser sogenannten Kraftstoffkatalysatoren ist kostengünstig und hat in den Motorversuchen gute Ergebnisse erzielt. Die Metalloxide lösen die Regeneration im Partikelfilter bei Temperaturen um 400°C aus und werden von diesem praktisch vollständig zurückgehalten. Die Hersteller haben vielfältige Erfahrungen, vor allem im LKW- und Bus-Bereich, die Baumaschinenanwendung ist relativ neu. Im Feldversuch wurde zunächst manuell dosiert, resp. aus Vormischungen getankt, ab Mitte 1996 kamen automatische Dosiereinrichtungen zum Einsatz. Über die zugemischte Menge an Additiven wird Buch geführt.

● **Katalytische Beschichtung:** Die beiden Faserfiltertypen sind katalytisch beschichtet. Dadurch gelingt es, die Russabbrand-Temperatur um etwa 200°C abzusenken.

Spezielle Vorsichtsmassnahmen bei Additiven

Zusätze zum Kraftstoff sind nicht ohne weiteres zulässig. Sie unterliegen den nationalen Stoffverordnungen und je nach ihrer Zusammensetzung auch den Luftreinhalteverordnungen.

Nach den Vorschlägen des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL werden zur Vermeidung unerwünschter Sekundäremissionen sowie zur Absicherung der Versuchsergebnisse bei der Erprobung der Additive die folgenden Massnahmen durchgeführt:

- Jedes System möglichst in 2facher vergleichbarer Ausführung.
- Periodische Labor- und Feldmessungen bezüglich der motorischen Schadstoffe und allfälliger systembedingter Sekundäremissionen.
- Kontrollen der Konzentration im Abgas und in den Filtern.
- Überwachungseinrichtungen, die übermässige Filterbelastung und Filterschäden melden und aufzeichnen.
- Abschlussuntersuchungen der Filtersysteme durch die Hersteller und unabhängige Labors.

5. Überwachung

Während der Feldversuche werden die Filtersysteme durch ein Datenerfassungssystem bezüglich Druckverlust und Abgastemperatur kontinuierlich überwacht. Dies dient einerseits der Betriebssicherheit der Motoren und Filter, andererseits der Erlangung von Betriebsinformationen während der Versuche.

Drucküberwachung

Russfilter bauen in ihrer Beladungsphase einen nicht unerheblichen Gegendruck auf, der vom Motor überwunden werden muss. Die durch den Motor aufzubringende Ausschleusarbeit wird entsprechend steigen, im Zylinder kann etwas mehr Abgas zurückbleiben, und beim aufgeladenen Motor wird durch Verminderung des Expansionsgefälles an der Turbine der Aufladegrad und damit der Luftüberschuss reduziert. Motorleistung, Brennstoffverbrauch und Rohemission werden also verschlechtert, wenn der Gegendruck zu hoch wird. Der Druckverlust ist daher eine wichtige Auslegegrösse und muss im Betrieb überwacht werden.

Bei automatischen Systemen wie DSI erfolgt diese Kontrolle durch die System-Elektronik selbst.

Datenerfassung

Die Fahrzyklen der meisten Baumaschinen wechseln mit jedem Einsatz. Eine Standardisierung ist kaum möglich. Weiter ist nicht auszuschliessen, dass sich im Laufe der Versuche die Bedingungen ändern, indem sich zum Beispiel die Filter mit Öl-Asche belegen. Um während der gesamten Betriebszeit trotzdem die wichtigsten Informationen zu erfassen, ist somit eine kontinuierliche Überwachung erforderlich. Alle Filter wurden daher mit einer speziell für diesen Zweck entwickelten Datenerfassungseinrichtung ausgerüstet:

- Temperaturmessung vor dem Filter mit Thermo-Element (PHILIPS, Mantelcoax), mit Umformer TCM und Kompensation.
- Differenzdruck-Transmitter, Bereich 0-0.5 bar (HUBA Control, Typ 692)
- Data-Logger (Smart Reader von SCHILDKNECHT): 7 Kanäle mit Innentemperatur-Sensor und Batterie, kürzester Messtakt 8 Sek., auslesbar über PC. Speicherkapazität: bei Beschränkung auf 2 Kanäle und Abfragezeit 2 Min.: 22 Tage.
- Anschluss an die Fahrzeugbatterie 24 Volt, Stabilisierung
- Schwingungsentkoppelung zum Fahrzeugrahmen.

Diese Datenerfassung erlaubt die Erfassung einzelner Vorgänge wie beispielsweise des Russabbrandes mit grosser Auflösung, andererseits die Langzeitspeicherung von Daten, um Trends zu erkennen. Der Speicher enthält in der Standardeinstellung immer Daten der letzten 22 Tage, so dass auch langsame Veränderungen gut verfolgt werden können und überraschende Phänomene leichter rekonstruierbar sind.

Die Daten werden regelmässig ausgelesen und können mit einer angepassten PC-Software (DIADEM von GFS) bearbeitet werden.

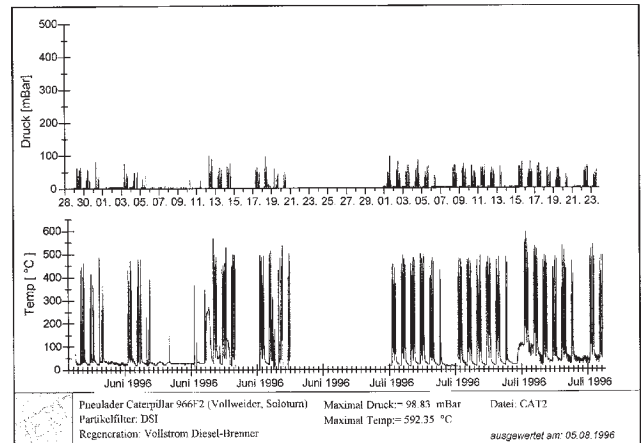


Bild 3: Druck und Temperatur vor dem Filter über mehrere Arbeitsstunden. Einzelsvorgänge können zeitlich gezoomt werden.

6. Periodische Emissionsmessungen

In einer Sequenz von ca. 6 Wochen werden alle im Feldversuch eingesetzten Baumaschinen durch die Suva bezüglich ihrer Abgasemissionen überprüft. Erfasst werden die gasförmigen Emissionen CO, CO₂, NO, NO₂, HC sowie O₂ sowie die Rauchemission. Für diese Feldmessungen kommen die folgenden in der Motorprüfstandsphase evaluierten Geräte zum Einsatz¹:

- AVL Di-Smoke 435, mit einer 4-Gas-Messbank ausgestattet.
- VLT-Dieselauchtester. Diese beiden ersten Geräte werden zur Erfassung des Beschleunigungs-Rauchausstosses eingesetzt.
- AVL Automatic-Smoke-Tester 407, für die Erfassung des Vollast-Rauches nach dem Russfilter
- RBR-Abgas-Computer, für die Erfassung der gasförmigen Komponenten O₂, CO, CO₂, NO, NO₂ und HC sowie
- MRU Rauchgas-Analyse-Computer mit ähnlichen Funktionen.



Bild 4: Suva-Messwagen im Einsatz

¹ Über die Evaluation der für die Feldmessung geeigneten Geräte für die Erfassung des Rauchstosses, des Vollastrauches sowie der gasförmigen Emission wird in einem folgenden Bulletin berichtet werden.

Die gasförmigen Schadstoffe CO, CO₂, NO, NO₂, HC sowie O₂ werden im tiefen Leerlauf, im hohen Leerlauf sowie in mindestens einem Vollastpunkt gemessen, der sich gerätetypisch über das Wandlergetriebe oder das Hydrostatgetriebe einstellen lässt. Wegen der Aufheizung des Hydrauliköls ist dieser Betriebspunkt allerdings zeitlich auf 2-3 Minuten begrenzt. In diesem Vollastpunkt wird auch der Rauch gemessen.

Zur Charakterisierung des instationären Emissionsverhaltens wird der Rauchstoss während der sogenannt freien Beschleunigung und während einer Beschleunigung unter Last gemessen [1].

Während der Messung werden zusätzlich die Öltemperatur und die Motordrehzahl sowie Druck und Temperatur vor dem Filter erfasst.

Die gesamte Messung dauert ca. 1 Stunde. Dieser Aufwand wird zur regelmässigen Überwachung von Dieselmotoren im Tunnelbau (etwa einmal jährlich) als generell zulässig erachtet.

7. Periodische Kontrollen

Treibstoff: Der Maschinist führt Buch über den Brennstoffverbrauch und den Einsatz von Additive, so dass eine Bilanzierung über die gesamte Testdauer möglich ist.

Periodisch werden Treibstoffproben entnommen, vor allem um die Qualität der Additivierung (Durchmischung) zu überprüfen.

Schmieröl: Bei allen Geräten wird in Intervallen von 250 Betriebsstunden eine Schmierölprobe entnommen und durch das Öllabor der Firma Ammann/Langenthal untersucht. Dabei wird vor allem auf den Russgehalt im Öl geachtet, der infolge des Gegendruckes ansteigen kann.

8. Flankierende Arbeiten

- In umfangreichen Arbeiten an der ETH/Zürich und HTL/Biel wurde das Feinpartikel-Abscheideverhalten zahlreicher Filtermedien untersucht und in [4] zusammengefasst. Die Arbeiten werden fortgesetzt.

- An der HTL/Biel sind im Juni 96 ergänzende Untersuchungen bezüglich der Beeinflussung der Grössenverteilung der Russpartikel durch Brennstoff-Additive vorgesehen.

- An der ETH/Zürich laufen parallel dazu grundsätzliche Forschungsarbeiten zur Verbesserung des Verbrennungsverhaltens durch Brennstoff-Additive, da neben deren Wirkung in den Russfiltern auch verbrennungsverbessernde Effekte im Brennraum selbst vermutet wurden.

- Angeregt durch das BUWAL wird im Herbst 96 an der EMPA/Dübendorf ein Versuch durchgeführt, der detailliert Auskunft über allfällige Sekundäremissionen geben soll, die beim Einsatz von Brennstoff-Additiven entstehen könnten.

9. Bilanzierende Bewertung

Alle Testgeräte sollen mindestens ein Jahr Felderprobung absolvieren. Nach dieser Zeit werden die Filter demontiert, durch die Hersteller und unabhängige Labors untersucht und bezüglich folgender Aspekte bewertet:

- Festigkeit, innere Schäden, Korrosion
- Abscheidung von Inert-Bestandteilen (Öl-Asche und Brennstoff-Asche, Abrieb, Feinstäube, Restprodukte)
- Rückhaltung von Additiven und damit Bilanzierung über den gesamten Einsatzzeitraum
- In interessanten Fällen sollen die Filter nach den Tests noch einmal auf dem Motorprüfstand überprüft werden.

10. Bisherige Erfahrungen

Zunächst ist den Bauunternehmern zu danken, die ihre wertvollen Geräte für diesen Versuch zur Verfügung gestellt haben. Darin kommt das breite Interesse der Anwender an Methoden zum Ausdruck, die Schadstoffemissionen der Dieselmotoren mindern. Das Motiv ist dabei nicht nur das Image der Unternehmung, sondern die echte Besorgnis um die Qualität der Atemluft am Arbeitsplatz und die Belastung von Schadstoff-Emissionen in die Umwelt.

Überraschend und erfreulich waren die Erfahrungen, die bei der Umrüstung gemacht wurden. Obschon es sich hier ja in allen Fällen um individuelle Massnahmen handelte, konnten die Filter im vorgesehenen kurzen Zeitraum eingebaut werden. Bei den meisten Filtersystemen nahm der Einbau weniger als einen Arbeitstag in Anspruch, einschliesslich Installation der Überwachung und Messdatenerfassung. Die vollautomatischen Brennerregenerationssysteme mit ihren Zusatzaggregaten und der mit der Fahrzeugelektrik gekoppelten Steuerung erforderten bei diesen Einzelausrüstungen einen zeitlichen Aufwand von 2-3 Tagen, der bei wiederholter Umrüstung des gleichen Typs sicher erheblich verkürzt werden kann.

Seitdem laufen die Versuche in guter Abstimmung mit Betreibern, Herstellern und der Suva-Analytik.

Die Datenerfassung hat sich als ausserordentlich nützlich erwiesen. Die periodischen Messungen mit den in diesen Anwendungen neuen Feldmessgeräten sind bereits Routine.

Die Additivierung des Treibstoffs ist nur in einem Fall wirklich gut gelöst, wo der Betreiber einen speziellen Tank für dieses Fahrzeug bereit stellt, in dem das Additiv sorgfältig eingemischt werden kann. In allen anderen Fällen hängt die Qualität der Additivierung von der Zuverlässigkeit der Maschinisten ab, was nur für einen Versuchseinsatz akzeptiert werden kann. Für eine praxisgerechte Anwendung der Treibstoffadditive sind automatische Additivierungsanlagen an Bord Bedingung. Alle drei Additiv-Hersteller werden solche Einrichtungen noch im Verlauf des Feldversuches nachrüsten.

Für eine Bewertung der Filter ist es noch zu früh. Die erwarteten Abscheidegrade werden in den meisten Fällen erreicht und bleiben auch über längere Betriebszeiten stabil. Die Druckverluste sind in einigen Fällen zu hoch, Auslegungskorrekturen drängen sich auf und sind nach

Herstellerangaben auch möglich. Mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit turboaufgeladener Motoren wird eine automatische Überwachung des Abgasgedruckes als

unbedingt erforderlich erachtet. Bisher eingesetzte Lösungen neigen zur Verschmutzung und sind daher noch nicht zuverlässig genug.

VERT - Feldversuche (Stand 30.10.96)

Gerät Funktion Typ Kraftüber- tragung	Motor Typ Hubvolumen Drehzahl Leistung	Betreiber Einsatzart	Filter Hersteller	Regeneration Verfahren Dosierung	Druckverlust max. Durchsatz (mbar)		Rauchemission freie Beschleunigung K (1/m)		Gasförmige Emissionen bei Vollast (ppm) %				Einsatz Umbau-Dat Betriebs- stunden mit Filter
					Neu- zust.	max. Belad.	ohne Filter	mit Filter freie B.	NOx	CO	HC	O ₂	
Bagger LIEB A912 419/3086 Hydrostat	D904T 5.6 ltr 2000 1/min 96 kW	Risi AG Baar Sortieranlage	SHW	Additiv: Ceroxid Dos. 0.3 ‰	20	200 (450*)	1.43	0.02	2182	89	9	10.1	20.12.95 1367
Bagger LIEB R932 572/3010 Hydrostat	D914 TI 6.1 ltr 2000 1/min 124 kW	Risi AG Baar Erdbewegung	ECS	Additiv: Lubrizol Dos. 1.5 ‰	48	200	?	0.01	1017	152	59	11.3	23.10.95 1285
Bagger LIEB R942 574/3011 Hydrostat	D916 T 9.1 ltr 2000 1/min 150 kW	Risi AG Baar Erdbewegung	KHD/DSI	Vollstrom Diesel-Brenner	13	80	?	0.06	1566	265	1145	10.4	18.12.95 1083
Bagger CAT 330 L/CK 131 Hydrostat	3306 TA 10.5 ltr 1800 1/min 163 kW	König Niederbipp Erdbewegung	SHW	Add.: Ferrocen Dos. 1 ‰	100	230 (450*)	?	0.17	1187	542	41	8.4	21.12.95 1258
Pneulader CAT 966FI/ 9YJ02151 Wandler	3306 T 10.5 ltr 2200 1/min 164 kW	Vollenweider Steinbruch Firsi Ausbruch	KHD/DSI	Vollstrom Diesel-Brenner	34	59	?	0.01	1039	400	70	9.7	11.1.96 905
Bagger 320 L Hydrostat	3116 T 6.6 ltr 1800 1/min 94 kW	Sortech AG Kloten Sortieranlage	BUCK	Kat.Beschicht. + Add.Ferrocen Dos. 2 ‰	90	200	?	0.13	1136	217	60	9.4	20.12.95 1580
Pneulader 214 B Wandler	3118 6.6 ltr 2000 1/min 99 kW	Papierfabrik Perlen Ladearbeiten	UNIKAT	Periodisch am elektrischen Netz	?	22	?	0.002	993	549	0	10.2	6496
Pneulader 980C Wandler	3406T 14.6 ltr 2100 1/min 205 kW	Kieswerk Bassersdorf Ausbruch	UNIKAT	Periodisch am elektr. Netz	50	350	?	0.210	1420	118	130	10.9	21.11.93 ca. 2500
Kettenlader 953 B Wandler	3116 T 6.6 ltr 2400 1/min 89 kW	Eberhard Zürich Erdbewegung	HUG	Katalytische Beschichtung	250	350	-	0.16	942	112	84	9.8	11.7.95 1050

*) Gebrauchsdauergrenze durch Additivbelegung, Filter gereinigt

Literatur:

- VERT-Bulletin 1: Probleme, Ziele, Programm
- VERT-Bulletin 2: Dieselpartikelfilter
- VERT-Bulletin 3: Bewetterungsmassnahmen kontra Abgasnachbehandlung
- SAE 960472, Trapping Efficiency depending on Particulate Size
- SAE 960138, Passive Regeneration of Catalyst coated knitted Filter Diesel Particulated Traps
- Konzept und Ergebnisse des Partikelfilter-Grossversuches der Bundesrepublik Deutschland, UBA Berlin und TÜV Rheinland 12/94
- Suva-Faltblatt zum VERT-Projekt, Baumaschinenmesse Bern, März 1996

Abkürzungen:

AUVA Allg. Unfallversicherungsanstalt/Österreich
 BUCK Buck Maschinenbau GmbH, D-Bondorf
 BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
 CORNING Corning Europa, D-Wiesbaden

DME Diesel-Motor-Emissionen
 DSI Deutz Service International GmbH, D-Köln-Deutz
 ECS Eginge Control Systems Ltd., UK-Birkshire
 EMPA Eidg. Material- und Forschungsanstalt, Dübendorf
 GFS Gesellschaft für Strukturanalyse mbH, D-Aachen
 HUG Hug Engineering GmbH, CH-Weisslingen
 LUBRIZOL Lubrizol International Laboratories, UK-Derby
 3M 3M Europa, D-Neuss
 MAK Maximale Arbeitsplatzkonzentration
 NGK NGK Europe GmbH, D-Eschborn
 PLUTO Chemische Betriebe Pluto, D-Herne
 RHÖNE-POULENC Rhône-Poulenc, Projet „Diesel Propre“, F-Courbevoie
 SAE Society of Automotive Engineers
 SHW Schwäbische Hüttenwerke GmbH, D-Wasseraalengen
 Suva Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
 TBG Tiefbau-Berufsgenossenschaft/Deutschland
 UNIKAT Unikat AB, S-Malmö
 VERT Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau

Projektleitung:

Ing.Büro TTM, A.Mayer, Fohrhölzistr. 14b, CH-5443 Niederrohrdorf
 Tel. 0041(56) 496 64 14, Fax 0041(56)496 6415

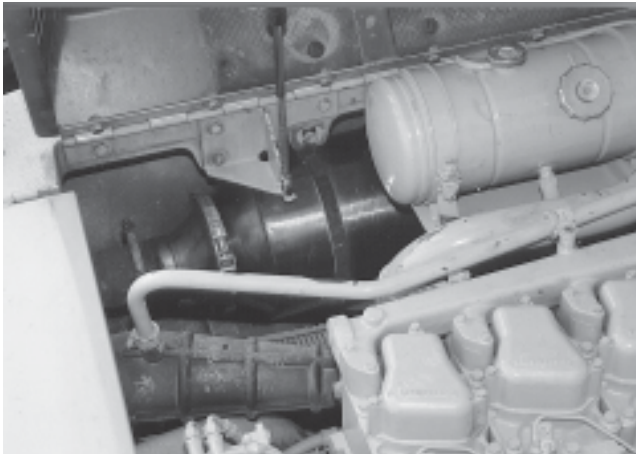
Projektausschuss der Auftraggeber:

AUVA: Herr Schuster 0043(3842)24317
 TBG: Prof. D. Kieser 0049(761)73135
 Suva: W.Scheidegger 0041(41)419 5060

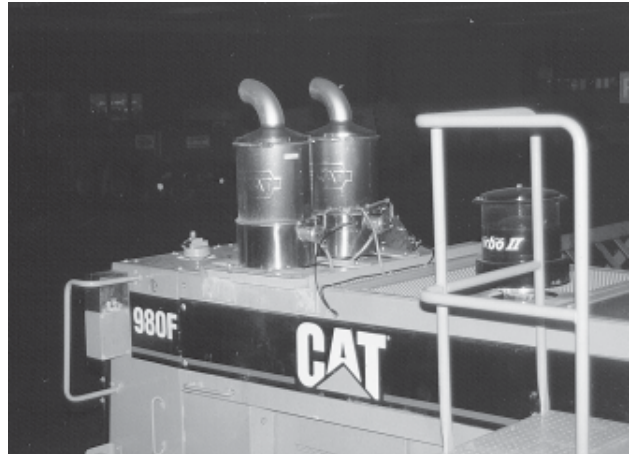
Bulletin-Bestellungen:

AUVA: Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
 Abteilung für Unfallverhütung und Berufskrankheitenbekämpfung
 Adalbert-Stifterstr. 65, A-1200 Wien (Frau Radoszics)
 Tel. 0222-33111-418 Fax 0222-33111-347
 Bestell-Nr. AUVA-Report 4/2
TBG: Tiefbau-Bauberufsgenossenschaft
 Am Knie 6, D-81241 München
 Tel. (089)8897 505 Fax (089)8897494
Suva: Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
 Kundendienst, Postfach 6002 Luzern
 Tel. (041)419 5851 Fax (041)419 5917

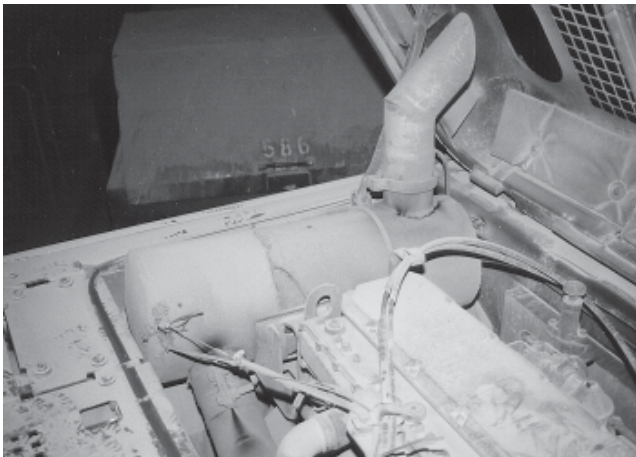
Beispiele für den Auf- und Einbau von Partikelfiltern an Baumaschinen im Feldeinsatz des Projektes VERT



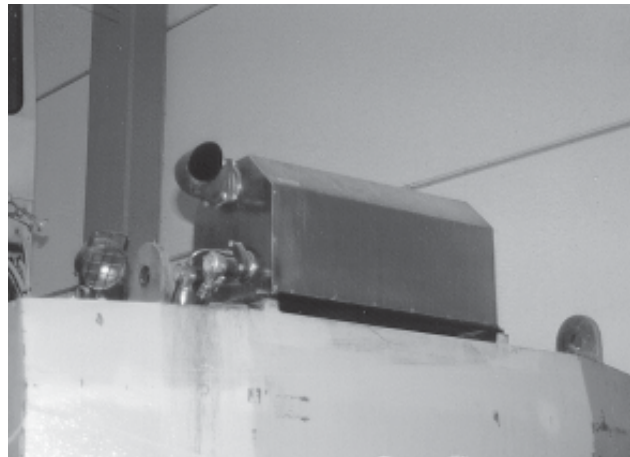
ECS-Filter auf Raupenbagger Liebherr 932 an der Stelle des Auspuffschalldämpfers montiert.



UNIKAT-Filter auf Radlader CAT 980F.



BUCK-Filter auf Pneubagger CAT 320L an der Stelle des Auspuffschalldämpfers montiert.



UNIKAT-Filter auf dem Gegengewicht des Pneubaggers CAT 214B montiert.



SHW-Filter auf Raupenbagger CAT 330 an der Stelle des Auspuffschalldämpfers montiert.



KHD/DSI-Filter auf Raupenbagger Liebherr 942 aufgebaut. Für die Feldversuche wurde die Sichteinschränkung für den Fahrer toleriert. Im Normalfall müsste der Filter unter die Haube.



Bild 1: Ein mit einem DSI-Russfilter ausgerüsteter Radlader Caterpillar 966 F im harten Einsatz in einem Steinbruch.



Bild 1: Ein mit einem DSI-Russfilter ausgerüsteter Radlader Caterpillar 966 F im harten Einsatz in einem Steinbruch.