

Abschlußbericht

des von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
geförderten Vorhabens:

Entwicklung eines Partikelfilters mit additivgestützter Regeneration für die dieselmotorische Anwendung

Aktenzeichen	06424
Bewilligungsempfänger	HJS Fahrzeugtechnik GmbH & Co
Projektbeginn	bewilligt im November 1995
erstellt von:	Dipl.-Ing. Carsten Kohberg
erstellt am:	03.03.2000

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	06424/	Referat	(21/0)	Fördersumme	1.269.950,00 DM
Antragstitel	Entwicklung eines Rußpartikelfilters mit additivgestützter Regeneration für die dieselmotorische Anwendung				
Stichworte	Verkehr, Verfahren, regenerativ, Kfz, EXPO 2000				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
44 Monate	Nov. 1995	Juli 1999	2		
Zwischenberichte	quartalsweise				
Bewilligungsempfänger	HJS Fahrzeugtechnik GmbH & Co. Dieselweg 12 58706 Menden			Tel	02373 / 987-0
				Fax	02373 / 987-199
				Projektleitung Dr.Ing. Georg Hühwohl	
				Bearbeiter Dipl.-Ing. Carsten Kohberg	
Kooperationspartner	CUTEC, Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH Leibnizstraße 23 38678 Clausthal-Zellerfeld				

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Entwicklung eines Rußpartikelfiltersystems für Dieselmotoren, welches unter allen Betriebsbedingungen automatisch und zuverlässig funktioniert.

Da die reine Additivierung des Kraftstoffes diese Anforderung nicht erfüllt, soll ein zusätzlich zu entwickelnder Brenner eine sichere Regeneration des Partikelfilters einleiten.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Untersuchungen wurden an mehreren Gabelstaplern und Kommunalfahrzeugen durchgeführt. Anhand verschiedener Prototypen wurden diverse Brennerkonfigurationen und Steuergerätevarianten sowohl im realen Feldeinsatz wie auch in stationären Prüfstandsversuchen (durchgeführt durch das CUTEC-Institut) untersucht.

Das definierte Filtersystem mit additiv- und brennergestützter Regeneration wurde im Dauerlauf mittels einer selbst entwickelten Meßdatenerfassung überwacht und somit auf seine Funktionsfähigkeit getestet.

Ergebnisse und Diskussion

In der ersten Phase wurde ein Canningkonzept entwickelt und konstruktiv umgesetzt, mit dem ein modularer Filteraufbau ermöglicht wird.

Darüber hinaus erfolgte die Entwicklung eines Additivdosier- und Überwachungssystems.

Die Eindosierung erfolgt in die Kraftstoffrücklaufleitung vor dem Kraftstofftank (Niederdruckseite des Kraftstoffsystems) in Abhängigkeit von der nachgetankten Kraftstoffmenge.

In weiteren wurde in einer Risikoabschätzung die Additivwirkung auf Mensch und Umwelt durch das Umweltbüro Dr. Gerhard Mörschwitzer und Partner (UGM) begutachtet. Die entsprechende Unbedenklichkeitseinschätzung führte zu einer Flottenfreigabe seitens des Umweltbundesamtes Berlin von max. 25.000 Fahrzeugen, die mit Rußfiltersystem und Cer-Additiv ausgerüstet sind.

Diese Ergebnisse bildeten die Voraussetzung für die Durchführung der Vorhabensphase II.

Die in der Phase II durchgeführten Dauerlauftests mit verschiedenen Anwendungen (MB 309 D Transporter, Linde 351 Gabelstapler mit KHD-Motor) zeigten ein unzureichendes Betriebsverhalten mit Abgasgedrücken von teilweise mehr als 800 mbar.

Zur Überwachung der im Feldeinsatz befindlichen Prototypenfahrzeuge wurde ein autark arbeitendes Meßdatenerfassungssystem entwickelt, welches alle relevanten Daten über einen langen Zeitraum aufzeichnen kann.

Die im Feldversuch gesammelten negativen Betriebserfahrungen führten zu einer Erweiterung des Partikelfiltersystems durch eine Sekundärenergiequelle.

Die Kombination aus Additiveinsatz in Verbindung mit einem Brenner stellt einen Kompromiß aus beiden Einzelsystemen dar, der die jeweiligen Nachteile eines Systems ausschließt.

Zudem arbeitet das neue Filtersystem unabhängig von der Filterposition zum Motor und regeneriert selbsttätig während des Motorbetriebes.

Durch die Anordnung des Brenners auf der Reingasseite konnte der Aufbau vereinfacht werden, was zu einem kostengünstigen und funktions sicheren System führte.

Zur Minimierung der Sekundäremissionen wurde das System bei der CUTEC Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH untersucht und optimiert. Es wurden ebenfalls Vorschläge zur Additivanalyse für Cer erarbeitet, die allerdings als Vor-Ort-Schnelltestverfahren nur bedingt umsetzbar sind.

Im Feldtest wurde dieses System an sieben Staplertypen und weiteren drei Kommunalfahrzeugen über insgesamt mehr als 10.000 Betriebsstunden im realen Betriebseinsatz erfolgreich erprobt.

Die Voraussetzungen für eine Serienumsetzung dieses Systems für Flurförderfahrzeuge und Baumaschinen mit Motorleistungen bis zu 125 kW sind somit erfüllt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Fazit

Die in der Atemluft in unseren Innenstädten und an den Arbeitsplätzen auftretenden lungengängigen Rußpartikel werden durch den Einsatz des Dieselpartikelfilters auf Sintermetallbasis zu mehr als 99% reduziert.

Das nun entwickelte Dieselpartikelfiltersystem mit additiv- und brennergestützter Regeneration arbeitet vollautomatisch unter allen Motorbetriebsbedingungen und erfüllt somit alle Anforderungen der Fahrzeughersteller und Betreiber an eine unter allen Betriebsbedingungen sichergestellte Regeneration ohne manuelle Eingriffe.

Die Kombination aus einem Filtermaterial auf Sintermetallbasis, welches sich durch hervorragende thermische und mechanische Eigenschaften auszeichnet, sowie einem vollautomatischen Dosiersystem und der Einsatz eines Brenners auf der Reinfluftseite ermöglicht ein System, das universell nachrüstbar ist.

Gleichzeitig wird der Additiveinsatz auf ein Minimum reduziert und somit die Dauerhaltbarkeit des Filters bezüglich Ascheeintrag erheblich erhöht.

Die Prototypentest haben gezeigt, daß das System für Motorleistungen bis 125 kW eingesetzt werden kann. Allerdings wird das System durch die derzeit verfügbaren Brennerkomponenten (insbesondere Luftgebläse) in seiner maximalen Brennerleistung begrenzt. Für zukünftige Anwendungen mit größerer Motorleistung sind daher zusätzliche Entwicklungen erforderlich.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
 2. Kurzfassung des Gesamtvorhabens
 3. Hauptteil – Ergebnisse aus den Projektphasen I und II
 - 3.1 Entwicklung eines Filter-Konzeptes
 - 3.1.1 Aufgabenstellung
 - 3.1.2 Realisierung
 - 3.2 Entwicklung eines elektronischen Additivdosier- und Überwachungssystems
 - 3.2.1 Aufgabenstellung
 - 3.2.2 Realisierung
 - 3.3 Risikoabschätzung der Additivwirkung auf Mensch und Umwelt
 - 3.4 Optimierung Gesamtsystem
 - 3.4.1 Aufbau des Filtersystems
 - 3.4.2 Filterelement
 - 3.4.3 Brenner
 - 3.4.4 Additivkonzentration
 - 3.4.5 Prüfstandsuntersuchungen – HJS
 - 3.4.5.1 Versuche am Motor KHD F3L913G
 - 3.4.5.2 Komponententest im Dauerlauf
 - 3.4.6 Untersuchungen – CUTEC
 - 3.4.7 Stellungnahme und Bewertung der erzielten Ergebnisse
 - 3.5 Prototypenmeßtechnik
 - 3.6 Prototypenentwicklung Flurförderfahrzeuge
 - 3.7 Prototypenentwicklung Kommünalfahrzeuge
 4. Fazit
 5. Literaturverzeichnis
- Anhang: Abbildungen

1. Einleitung

Dieselmotoren, im Fahrzeug- und Arbeitsmaschineneinsatz, sind aus dem heutigen Wirtschaftsleben nicht mehr wegzudenken. Die robuste Bauweise im Verbund mit hoher Effizienz und weitem Leistungsbereich prädestiniert den Dieselmotor als ökonomisch sinnvolles Antriebsaggregat.

Zieht man ökologische Aspekte in Betracht, relativieren sich diese Vorzüge. Trotz niedriger Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen gegenüber dem Ottomotor, hat der Dieselmotor den Nachteil der im Abgas enthaltenen Partikel. Aufgrund ihrer geringen Größe sind diese Partikel, die im wesentlichen aus Ruß (Kohlenstoff), angelagerten Kohlenwasserstoffen und Sulfaten nebst Wasser bestehen, lungengängig. Eine krebserregende Wirkung wird vermutet. Im Bemühen dieses Gefährdungspotentials für die Allgemeinheit zu minimieren, führte die Legislative strengere Emissionsgrenzwerte für Kraftfahrzeuge (EURO II zum 01.10.1996, EURO III zum 01.10.2000, EURO IV/1 zum 01.10.2005 und EURO IV/II zum 01.10.2008) und für Industriemotoren (ab 1997) ein. Die hier geforderten niedrigen Partikel- und Stickoxidemissionen bei gleichzeitig niedrigem Kraftstoffverbrauch können teilweise durch verbesserte Einspritztechnik erreicht werden. Bild /1/ zeigt eine Gefährdungsabschätzung des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 1998 auf Basis unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen bzw. Betriebszuständen. Demnach ergibt sich nach Einführung der EURO III Grenzwerte ein Verhältnis von maximal 30,61. D.h. 30,61 Dieselfahrzeuge weisen dasselbe krebserregende Potential wie ein Fahrzeug mit Otto-Motor auf. Erst durch den Einsatz eines Partikelfilters wird sich das Risikoverhältnis von Dieselmotoren zu Otto-Motoren mit einem Faktor von 1,9 annähern.

Der Effekt einer Grenzwertverschärfung auf die Immission ist allerdings nur schleppend erkennbar, da Grenzwerte in der Regel nur neue Aggregate betreffen und der alte Motorenbestand nicht betroffen ist.

Beispielhaft ist in Bild 1-1 die berechnete Entwicklung der Partikelemission aus Diesel-Kfz in Deutschland unter Berücksichtigung der steigenden Fahrleistung dargestellt /2/. Unter der Annahme, daß alle neuzugelassenen Fahrzeuge ab 1996 –1999 der Emissionsstufe EURO II entsprechen, wird bis zum Jahr 2010 das Emissionsniveau von 1980 erreicht. Eine zusätzliche Absenkung um ca. 30 % errechnet sich bei der Einführung des EURO III-Standards ab dem Jahr 2000. Eine drastische Reduzierung der Partikelimission, besonders in den hochbelasteten Innenstädten und Arbeitsbereichen, ist daher nur durch die Nachrüstung bestehender Motoren mit einem System zur Abgasnachbehandlung parallel zur Einführung neuer Abgaslimits zu erwarten.

Dem Motor nachgeschaltete Partikelfiltersysteme eignen sich sowohl für die Applikation in Neufahrzeugen als auch für die Nachrüstung und erreichen eine Reduktion der Partikelemission größer 90 %. Eine besondere Anforderung an das Filtermaterial stellt die Filterwirkung im gesamten Größenbereich der Partikelemissionen dar. Insbesondere die Kleinstpartikel mit einer Größe kleiner 100 nm sind lungengängig und weisen daher ein hohes kanzerogenes Potential auf. Problematisch ist allerdings die Filterreinigung, denn die im Filter gesammelten Partikel müssen periodisch durch Abbrand entfernt werden, um den Anstieg des Abgasgedruckes, der den Kraftstoffverbrauch und den Motorverschleiß erhöhen würde, zu begrenzen. Das setzt zur Zündung des im Partikel enthaltenen Kohlenstoffs (Ruß) Abgastemperaturen von ca. 600°C, die bei Dieselmotoren nur bei Vollast, d. h. im normalen Anwendungsfall sehr selten, erreicht werden, voraus.

Die bislang verfügbaren Zusatzeinrichtungen bei dem Einsatz in Arbeitsmaschinen, wie z.B. Brenner für Standregenerationssysteme, Wechselfilter erfordern Stillstandszeiten des Fahrzeuges sowie Handlungsaufwand durch das Personal. Zusätzlich belasten die während der Regenerationsphase auftretenden hohen Temperaturen das heute vielfach verwendete keramische Filtermaterial durch die auftretenden thermischen Spannungen extrem und begrenzen so die Systemlebensdauer. Die erforderlichen hohen Investitionen für den Betreiber, die nicht unter allen Betriebsbedingungen sichergestellte Funktion und die eingeschränkte Lebensdauer des Filters haben eine Marktdurchdringung der heute angebotenen Dieselpartikelfiltersysteme verhindert.

Ziel dieses, von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Vorhabens ist daher die Entwicklung eines Dieselpartikelfiltersystems ohne die obengenannten Nachteile. Basis dieses Konzeptes ist das von den Schwäbischen Hüttenwerken entwickelte Filtermaterial aus Sintermetall und das auf Grundlage von Cer entwickelte Kraftstoffadditiv des französischen Chemiekonzerns Rhodia. Das Additiv wird in kleinsten Mengen dem Kraftstoff zugegeben und bewirkt eine Absenkung der Zündtemperatur des Rußes im Filter. Das sintermetallische Filtermaterial ist gegenüber der Keramik bei entsprechender Filtereffizienz, bedingt durch seine physikalischen Eigenschaften, deutlich resistenter gegen hohe Temperaturen und läßt eine dem Motor entsprechende Lebensdauer erwarten. Um unter allen möglichen Betriebsbedingungen den Filter sicher regenerieren zu können, wird zusätzlich eine Sekundärenergiequelle in Form eines einfach aufgebauten Brenners eingesetzt. Hierdurch ist es möglich das Fahrzeug ohne Stillstandszeiten zu betreiben.

2. Kurzfassung des Gesamtvorhabens

Im Dezember 1995 wurde der Antrag des Hauses HJS auf Förderung der Weiterentwicklung eines Dieselpartikelfilterkonzeptes aus der Kombination der SHW-Sintermetallfilterplatte und des Cer-Kraftstoffadditives von Rhône Poulenc von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) positiv bewertet (Aktenzeichen 06424). Die Förderung war mit der Auflage der DBU verbunden, dieses Vorhaben in zwei Phasen abzuarbeiten.

In der ersten Phase wurde ein Canningkonzept entwickelt und konstruktiv umgesetzt, mit dem ein modularer Filteraufbau ermöglicht wird.

Darüber hinaus erfolgte die Entwicklung eines Additivdosier- und Überwachungssystems.

Die Eindosierung erfolgt in die Kraftstoffrücklaufleitung vor dem Kraftstofftank (Niederdruckseite des Kraftstoffsystems) in Abhängigkeit von der nachgetankten Kraftstoffmenge.

In weiteren wurde in einer Risikoabschätzung die Additivwirkung auf Mensch und Umwelt durch das Umweltbüro Dr. Gerhard Mörschwitzer und Partner (UGM) begutachtet. Die entsprechende Unbedenklichkeitseinschätzung führte zu einer Flottenfreigabe seitens des Umweltbundesamtes Berlin von max. 25.000 Fahrzeugen, die mit Rußfiltersystem und Cer-Additiv ausgerüstet sind.

Diese Ergebnisse bildeten die Voraussetzung für die Durchführung der Vorhabensphase II.

Die in der Phase II durchgeführten Dauerlauftests mit verschiedenen Anwendungen (MB 309 D Transporter, Linde 351 Gabelstapler mit KHD-Motor) zeigten ein unzureichendes Betriebsverhalten mit Abgasgegendrücken von teilweise mehr als 800 mbar.

Zur Überwachung der im Feldeinsatz befindlichen Prototypenfahrzeuge wurde ein autark arbeitendes Meßdatenerfassungssystem entwickelt, welches alle relevanten Daten über einen langen Zeitraum aufzeichnen kann.

Die im Feldversuch gesammelten negativen Betriebserfahrungen führten zu einer Erweiterung des Partikelfiltersystems durch eine Sekundärenergiequelle.

Die Kombination aus Additiveinsatz in Verbindung mit einem Brenner stellt einen Kompromiß aus beiden Einzelsystemen dar, der die jeweiligen Nachteile eines Systems ausschließt.

Zudem arbeitet das neue Filtersystem unabhängig von der Filterposition zum Motor und regeneriert selbsttätig während des Motorbetriebes.

Durch die Anordnung des Brenners auf der Reingasseite konnte der Aufbau vereinfacht werden, was zu einem kostengünstigen und funktionssicheren System führte.

Zur Minimierung der Sekundäremissionen wurde das System bei der CUTEC Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH untersucht und optimiert. Es wurden ebenfalls Vorschläge zur Additivanalyse für Cer erarbeitet, die allerdings als Vor-Ort-Schnelltestverfahren nur bedingt umsetzbar sind.

Im Feldtest wurde dieses System an sieben Staplertypen und weiteren drei Kommunalfahrzeugen über insgesamt mehr als 10.000 Betriebsstunden im realen Betriebseinsatz erfolgreich erprobt.

Die Voraussetzungen für eine Serienumsetzung dieses Systems für Flurförderfahrzeuge und Baumaschinen mit Motorleistungen bis zu 125 kW sind somit erfüllt.

3. Hauptteil – Ergebnisse aus den Projektphasen I und II

Das Projekt wurde in zwei Projektphasen unterteilt. Inhaltlich sind in der ersten Phase die Arbeitsschritte zur Entwicklung eines Dieselpartikelfiltersystems auf Basis Sintermetall in Kombination mit Cer-Kraftstoffadditiv zusammengefaßt. Die Erprobung und Verifizierung des Systems in Prototypen ist Gegenstand der Phase II.

3.1 Entwicklung eines Filter-Konzeptes

3.1.1 Aufgabenstellung

Zielsetzung dieses Vorhabensschwerpunktes ist die Entwicklung eines Lagerungskonzeptes für Filterplatten aus Sintermetall im Abgasstrang. Besonderes Augenmerk gilt hierbei der Optimierung des Filterwirkungsgrades, des Regenerationsverhaltens, der Dauerhaltbarkeit und der Recyclefähigkeit des Systems. Entsprechend den in diesem Vorhaben angedachten Einsatzfällen ist eine einfache, robuste, kompakte und kostengünstige Konstruktion gefordert, die den Ansprüchen bezüglich guter Wärmeisolation und Schalldämmung, einfacher Montage im Fahrzeug und schneller unkomplizierter Reinigung bei langen Wartungsintervallen gerecht wird.

Alle Dieselpartikelfiltersysteme im Rahmen dieses Vorhabens sollen im Hinblick auf einfache Nachrüstung entwickelt werden. Für den geforderten einfachen Einbau, ohne größere Änderungen am Fahrzeug oder der Arbeitsmaschine, ist die Integration des Partikelfilters in den Schalldämpfer, bzw. der Ersatz des Schalldämpfers durch den Partikelfilter vorgesehen.

3.1.2 Realisierung

Basis der Entwicklung ist eine Filterplatte der Schwäbischen Hüttenwerke (SHW), die aus einem Metalldrahtgewebe besteht, in die durch Hochtemperatursinterung Metallpulver eingebunden ist.

Werden die Platten aufeinander gestapelt und an den Stirnseiten miteinander verschweißt entsteht ein „ziehharmonikaförmiges“ Gebilde. Durch das Zusammenpressen bildet sich eine Struktur aus einseitig offenen, wechselseitig verschlossenen Kanälen.

Im weiteren Verlauf der Prototypenversuche zeigte sich jedoch, daß dieser Aufbau durch die Notwendigkeit des Einsatzes eines Brenners als Sekundärenergiequelle verändert werden mußte.

Die gute mechanische Verformbarkeit des Sintermaterials ermöglichte eine optimale Gestaltung der Plattengeometrie entsprechend den geänderten Rahmenbedingungen (siehe Abschnitt 3.4.1 *Filteraufbau*).

3.2 Entwicklung eines elektronischen Additivdosier- und Überwachungssystems

3.2.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe des Dosiersystems ist die definierte Zugabe eines die Partikelfilterregeneration unterstützenden katalytisch wirkenden Kraftstoffadditives zum Dieselkraftstoff. Die Dosierung der Additivmenge muß in engen Toleranzen erfolgen, da eine Unterdosierung zu einer Filterverblockung durch Ausbleiben der Regeneration führt und eine Überdosierung die Verstopfung des Filters durch Additivasche beschleunigt.

3.2.2 Realisierung

Als Additivdosiersystem wurde, wie bereits im Zwischenbericht zu Phase I erläutert, die Variante der Dosierung auf der Niederdruckseite über den Rücklauf in den Fahrzeugtank ausgewählt und für die Prototypen realisiert /1/.

Das Additivdosiersystem arbeitet vollautomatisch und besteht aus den Komponenten Additivtank mit Füllstandsschalter zur Überwachung des Additivinhaltes, einem Steuergerät, der Dosierpumpe, und dem Kabelbaum mit Abgriff des Tankfüllstandsgebers.

Die Stelle der Eindosierung befindet sich bei diesem System im Kraftstoffrücklauf, so daß bauliche Änderungen am Tank nicht erforderlich sind. Durch den Kraftstofffluß im Rücklauf wird eine Vorvermischung des Additives mit dem Kraftstoff erreicht, was zu einer homogenen Additivverteilung im Tank führt. Die Zudosierung erfolgt jeweils bei einer Zunahme des Kraftstoffniveaus im Tank. Zur Erfassung des Kraftstoffniveaus wird im Regelfall das Ausgangssignal des fahrzeugeigenen Tankfüllstandsgeber im Kraftstofftank für das Steuergerät abgegriffen.

Die von HJS betrachteten Gabelstapler der Baureihen 350/351/352/353 der Fa. Linde haben keinen kontinuierlich über der Tankfüllhöhe arbeitenden Füllstandssensor, sondern lediglich einen Schalter für die Tank-Reserve-Leuchte. Für diese Anwendungsfälle wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. AB Elektronik Sachsen GmbH ein elektronischer Füllstandsgeber entwickelt, der den fahrzeugeigenen Füllstandsschalter ersetzt.

Die wesentlichen Anforderungen an diesen Geber sind:

- Austausch des Gebers unter Beibehaltung der konstruktiven Gegebenheiten (insbesondere Einschraubgewinde, Tauchrohrdurchmesser und -länge, Sensorkopfgröße),
- Kontinuierliche Füllstandserfassung über der gesamten Tankhöhe,
- Anschluß für die fahrzeugeitige Tankkontrolleuchte

Der Füllstandsgeber arbeitet nach dem Prinzip der Auftriebskraftmessung an einem eingetauchten Schwimmkörper.

Entsprechend der Eintauchtiefe entsteht zwischen dem minimalen und maximalen Flüssigkeitsstand eine Kraft, die dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit entspricht (Archimedes-Prinzip).

Diese Auftriebskraft wird mittels keramischem Kraftmeßelement aufgenommen, über eine im Sensor integrierte Elektronik ausgewertet und über die gewünschte Schnittstelle ausgegeben.

Das Sensorelement formt die eingetragene Kraft mittels einer Widerstandsmeßbrücke in ein Spannungssignal um. Dieses wird mit einem mehrstufigen Sensorverstärker verstärkt und bezüglich Offsetabweichung und Temperaturabhängigkeit kompensiert. Das Ausgangssignal liegt im Bereich zwischen 0,5 bis 4,5 V, so daß Kabelbruch und Sensordefekt über das Steuergerät detektiert werden können. Die gesamte Elektronik ist in einem ASIC zusammengefaßt und wird extern durch Komponenten zur Sicherung der EMV-Festigkeit ergänzt.

3.3 Risikoabschätzung der Additivwirkung auf Mensch und Umwelt

Ein innovatives Element des geplanten Dieselpartikelfiltersystems ist der Einsatz des Kraftstoffadditives Cer des französischen Chemiekonzerns Rhodia (vormals Rhône-Poulenc). Die Verwendung des Cer-Additives führt neben der Beeinflussung des Filterregenerationsverhaltens zu der zusätzlichen Emission von Cer-Oxid (CeO_2).

Die während der Phase I in den Jahren 1995/96 durchgeführten Untersuchungen durch das Umweltbüro Dr. Gerhard Mörschwitzer und Partner (UGM) zur Humantoxizität und der ökologischen Risikoabschätzung zeigten kein signifikantes Potential für adverse Effekte in der Umwelt /1/, /2/, /3/.

Die nicht-kanzerogenen Wirkungen von CeO_2 werden mit hoher Sicherheit durch dessen Partikelcharakter und aufgrund der chemischen Inertheit nicht durch biomechanische Reaktivität hervorgerufen.

Zur Abschätzung des eventuell vorhandenen kanzerogenen Potentials von Cer-Oxid kann derzeit keine generelle Aussage getroffen werden. Allerdings war im Mikronuklei-Test das CeO_2 nicht mutagen.

Vergleicht man die Risiken von Dieselruß-Emissionen mit CeO_2 -Emissionen kann durch den Einsatz eines Partikelfilters und dem Zusatz eines Cer-Additives eine Senkung des Gefahrenquotienten um etwa drei Größenordnungen erreicht werden.

Nach anfänglichen Bedenken des UBA zum Einsatz von Additiven zur Regenerationsunterstützung haben die Ergebnisse aus dem in der Schweiz in den Jahren 1996/97 durchgeführten VERT-Programm (Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau) wesentliche neue Erkenntnisse geliefert /4/. Neben der bekannt hohen gravimetrischen Abscheiderate von mehr als 90 % bei unterschiedlichen Drehzahl und Lastzuständen des Motors (Abb. 3.3-1), werden durch den Sintermetallfilter auch die besonders kritischen lungengängigen Feinstpartikel zu mehr als 99 % zurückgehalten (Abb. 3.3-2).

Aufgrund der hohen Abscheiderate des untersuchten Sintermetallfilters über den gesamten Größenbereich der Partikel werden additivbedingte Emissionen ebenfalls entsprechend gemindert. Die geringe Partikelkonzentration im Abgas nach Filter ließe weitergehende Wirkungsuntersuchungen nicht als aussichtsreich erscheinen. Daher wird der Einsatz der Additiv-Filter-Kombination durch das UBA befürwortet /5/.

Nach Ansicht des UBA sollte die Dosierung jedoch mit geringstmöglichem Additiveinsatz erfolgen, so daß sowohl eine hohe Abscheiderate wie auch ein sicherer Betrieb erreicht wird.

Dieser Forderung entspricht das optimierte Systemkonzept aus der Kombination von additiv- und brennergestützter Regeneration.

3.4 Optimierung Gesamtsystem

Der Einsatz des Linde 351 mit Dieselpartikelfilter und rein additivgestützter Regeneration zeigte in einigen Anwendungsfällen kein zufriedenstellendes Betriebsverhalten. Bei ungünstigen Fahrprofilen (hoher Niedriglastanteil, Kurzzeitbetrieb) führte die additivgestützte Regeneration zu Abgasgegendrücken von mehr als 600 mbar (Abb. 3.4-1 und 3.4-2). Ein unkritischer Betrieb der Fahrzeuge bei jedem Betriebszustand ist mit einer Regenerationsunterstützung, die ausschließlich auf Additiveinsatz basiert, nicht gewährleistet.

In der Projektphase II wurde daher eine zusätzlich erforderliche Sekundärenergiequelle zur Initialisierung des Regenerationsprozesses in das Gesamtkonzept integriert und im Rahmen der Prototypausstattung umgesetzt.

Eine Recherche der am Markt verfügbaren Brennersysteme zeigte jedoch, daß sich die derzeit üblicherweise eingesetzten Brenner stromaufwärts des Filters befinden. Hierdurch kommt es zu Problemen durch die hohen und stark in Abhängigkeit von Motorbetrieb und Filterbeladung schwankenden Abgasgegendrücken. Durch das Verschmutzen der Brennerdüse, Zündelektroden und Brennerüberwachung sind solche Konzeptionen wartungsintensiv und unzuverlässig.

Umgehen kann man diese Nachteile durch Anordnung des Brenners stromabwärts des Filters. Hier ist der Gegendruck des Brenners nahezu unabhängig von Motorlast und -drehzahl sowie der Filterbeladung. Eine Verschmutzung des Brenners durch partikelhaltiges Abgas kann ebenfalls ausgeschlossen werden.

3.4.1 Aufbau des Filtersystems

Das Filterelement und der Brenner sind in einem als Schalldämpfer wirkendem Gehäuse angeordnet, in dem das Motorabgas an beliebiger Stelle eintreten kann. Das Abgas umströmt den Filter und Brenner auf seiner Außenseite und gelangt durch eine zentrale Öffnung in den Filter. Hier muß das Abgas durch die poröse Filterwandung hindurch, wobei sich die Rußpartikel auf der inneren Filterseite ablagern.

Der zusätzlich eingesetzte Brenner befindet sich auf der nahezu drucklosen Reingasseite des Filters. Die äußeren Wärmetauscherrippen reduzieren die Brenntemperaturen an der Filterfront und erhöhen die Temperatur des in den Filter strömenden Abgases. Das gereinigte Abgas trifft auf der Austrittsseite mit dem heißen Brennergas zusammen (Abb. 3.4-3) /1/.

Durch die Anordnung des Brenners auf der drucklosen Reingasseite konnte dieser in Anlehnung an Ölbrenner aus dem Bereich der Haustechnik mit einem einfachen Aufbau realisiert werden.

Zur Überwachung der Brenkertemperatur befindet sich im Brennerrohr ein Temperaturfühler. Ein Dehnelement auf der Austrittsseite kompensiert die durch Temperaturunterschiede hervorgerufenen Wärmeausdehnungen der miteinander verbundenen Bauteile (Abb. 3.4-4).

3.4.2 Filterelement

Das Filterelement besteht aus mehreren Filtertaschen, die miteinander am inneren Eintrittsring verbördelt werden.

Die Filtertasche besteht aus einer oberen und unteren Platte, welche an der äußeren Prallkante verschweißt wird. Zur Erhöhung der Filteroberfläche sind in die Filterplatten Noppen eingepreßt, die gleichzeitig einen gleichmäßigen Plattenabstand gewährleisten.

Die Filtertaschen werden durch ein Gehäuse zu einem Block zusammengefaßt. Das Gehäuse besteht aus Edelstahlblechen, wobei das obere und untere Deckblech ebenfalls Öffnungen zur Abgaseinleitung aufweist. An der obersten und untersten Filterplatte befindet sich ein Kragen, der in die Öffnungen der Deckbleche hinein ragt. Dort wird das Filterelement mit dem Gehäuse dicht geschweißt.

Durch Variation der Filterplatten- bzw. -taschenanzahl kann der Partikelfilter in weiten Grenzen an die jeweilige Anwendung angepaßt werden.

Für das Versuchsfahrzeug Linde 351 wurde eine optimale Filtergröße von 0,8 qm Filterfläche ausgewählt, d.h. 38 Filterplatten.

Eine Filtergröße von 0,8 qm stellt für diesen Staplertyp einen optimalen Kompromiß zwischen benötigtem Bauraum bei der Verwendung eines zusätzlichen Brenners einerseits und erforderlichen Beladungs-, bzw. Regenerationsphasen andererseits dar.

Durch die gesteuerte zeitabhängige Regenerationseinleitung kann die Filterfläche um ca. 50% gegenüber Systemen ohne Brennerunterstützung reduziert werden.

3.4.3 Brenner

Der Brenner ist stromab des Partikelfilters angeordnet und wird mit dem Dieselmotorkraftstoff des Fahrzeuges betrieben. Während des Motorbetriebs wird der Brenner zeitabhängig vollautomatisch für eine Zeit von 100 sec. zugeschaltet. Auf eine anfällige Abgasgegendruckmessung wurde verzichtet. Das Regenerationsintervall ist für ein Fahrzeug fix und wird so appliziert, daß auch bei den ungünstigsten Bedingungen eine ausreichende Regeneration sichergestellt ist. Der Brenner besitzt eine Heizleistung von ca. 20 kW, wodurch sich ein Kraftstoffverbrauch von 56 ml für eine Regeneration ergibt.

Bei einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 3,5 l/h für einen 3 to Stapler beträgt der Kraftstoffmehrverbrauch bei einer Einschaltdauer von 100 Sekunden alle 3 Stunden lediglich 0,44%.

Der Dieselmotorbrenner besteht aus den Komponenten:

- Brennkammer mit Druckzerstäuberdüse, 3/2 Wege Ventil, Zündelektroden und PT100 Temperaturfühler
- Kraftstoffpumpe mit PWM Leistungssteuerung
- elektrisches Brennluftgebläse mit elektromagnetisch betätigtem Abschaltventil
- Zündtrafo
- Steuerungselektronik.

Eine Übersicht aller erforderlichen Systemkomponenten einschließlich dem Dosiersystem zeigt das Bild 3.4-6. Das Bild zeigt den funktionellen Zusammenhang aller Komponenten und ist nicht maßstäblich.

Da der Brenner stromab des Filters angeordnet ist wird ein Verrußen der Einspritzdüse des Brenners und der Zündelektroden ausgeschlossen.

Die Brennerdüse wird durch einen Kraftstoffumlauf kontinuierlich gekühlt, um ein langfristiges Verkoken der Einspritzdüse zu vermeiden. Hierzu wird durch die Kraftstoffpumpe kontinuierlich über den Kraftstoffvorlauf Dieselmotorkraftstoff zur Düse transportiert. Die Brennerdüse selbst besitzt ein integriertes Rückschlagventil, das erst bei Drücken oberhalb 2 bar öffnet, so daß kein Kraftstoff in den Brennraum austritt. Über das geöffnete Magnetventil kann der Kraftstoff durch den Rücklauf in den Tank zurückfließen.

Beim Zünden des Brenners wird der Rücklauf der Brennerdüse geschlossen. Die Leistung der Kraftstoffpumpe wird angehoben. Es stellt sich ein Einspritzdruck von etwa 14 bar ein. Die Flammentemperatur wird über einen PT100 Temperaturfühler gemessen. Nach wenigen Sekunden wird eine Temperatur von 950 °C erreicht. Dann wird die Leistung der Pumpe zurückgenommen, die Temperatur von 950 °C wird eingeregelt. Nach 100 Sekunden wird der Brenner abgeschaltet. Hierzu wird die Pumpenleistung zurückgenommen und das Rücklaufventil geöffnet. Das Luftgebläse läuft noch 30 Sekunden nach.

Die Elektronik des Brenners überwacht die wesentlichen Funktionen.

Funktionsweise

Die Einleitung der Regeneration ist zeitgesteuert und erfolgt bei unserem Versuchstapler Linde 351 alle 180 Minuten unabhängig vom Motorbetriebszustand. Wird die Regeneration ausgelöst beginnt das Luftgebläse mit einem Vorlauf von 5 Sekunden, um die Brennkammer zu spülen.

Im Anschluß wird die Leistung der Kraftstoffpumpe über das PWM Stellglied erhöht und das Kraftstoffmagnetventil zum Rücklauf verschlossen. Kraftstoffdruck steigt auf ca. 14 bar. Der Kraftstoff wird eingespritzt und gezündet. Die Flamme erreicht innerhalb weniger Sekunden im Brennraum maximale Temperaturen von ca. 950 °C. Die Temperatur wird durch einen Temperaturfühler PT 100 überwacht und falls erforderlich mittels Variation des Kraftstoffdruckes geregelt. Hierzu ist ein entsprechendes Temperaturkennfeld im Steuergerät hinterlegt. Nach 100 Sekunden ist der Regenerationsvorgang beendet.

Die Luftpumpe läuft nach Abschalten des Brenners 30 Sekunden nach, um die Brennraumtemperaturen abzusenken.

Innerhalb dieser 100 Sekunden erfolgt der Rußabbrand im Filter nahezu vollständig, so daß der Abgasgegendruck wieder das Ausgangsniveau eines neuen Filters erreicht (Abb. 3.4-6).

Nach erfolgreichem Regenerationsvorgang wird im Motorbetrieb der Kraftstoffumlauf des Brenners wieder aktiviert.

Während des Umlaufbetriebes fördert die Kraftstoffpumpe mit einem Umlaufdruck von ca. 1,0 bar Kraftstoff durch den Düsenstock zur Brennerdüse. Da diese erst bei einem Druck von $> 2,5$ bar öffnet, wird der Kraftstoff durch das nun geöffnete Kraftstoffmagnetventil in den fahrzeugseitigen Kraftstoffrücklauf gefördert.

Durch diese Kraftstoffkühlung der Brennerdüse im Motorbetrieb wird die Temperatur an der Düse auf maximal 120 °C abgesenkt. Ein Verkoken der Düse wird hierdurch ausgeschlossen.

Um das Austreten von Abgasen während des normalen Motorbetriebes aus dem Luftgebläse zu vermeiden, verschließt hier ein Magnetventil die Verbindung zwischen Brenner und Luftgebläse.

Wird der Motor während der Regeneration abgeschaltet, so wird der Regenerationsvorgang nach erneutem Motorstart wiederholt.

Wurde ein Regenerationsvorgang nicht fehlerfrei durchgeführt, so wird nach einer Wartezeit von 30 Minuten (einstellbar) der Brenner erneut gestartet. Ist auch dieser Startversuch negativ wird die rote Fehlerleuchte „Brenner“ aktiviert.

Mittels Diagnosegerät kann der Fehlercode ausgelesen und die Ursache behoben werden.

Nach dem Rücksetzen des Fehlercodes wird nach einer Wartezeit von 3 Minuten der Brennvorgang erneut ausgelöst. So kann die einwandfreie Funktion überprüft werden.

3.4.4 Additivkonzentration

Durch die Kombination von Additiv mit Brennerunterstützung kann die Additivkonzentration von ursprünglich 100 ppm bei reiner Additivregeneration auf 20 ppm reduziert werden, so das auch der Ascheeintrag durch das Additiv deutlich vermindert wird. Zudem wird die Gefahr eines nicht funktionierenden Systems durch zwei unabhängig voneinander arbeitende Regenerationssysteme deutlich vermindert.

Wirkungsuntersuchung

Abbildung 3.4-7 zeigt die am Linde 351 durchgeführten Untersuchungen zur Ermittlung der erforderlichen Mindestadditivierung. Es wurden die Regenerationsraten (Verhältnis aus Abgasgegendruck nach einer Regeneration zu dem Abgasgegendruck eines neuen, unbeladenen Filters) bei verschiedenen Additivkonzentrationen in Abhängigkeit des Motorbetriebes (Leerlauf-, Zwischen- und Abregeldrehzahl) ermittelt.

Konstante Randbedingungen waren ein Abgasgegendruck von 300 mbar vor Filter, die verfügbare Brennerleistung von 22 kW und eine Filterfläche von 0,8 qm.

Bei diesem Versuch wurden zufriedenstellende Regenerationsraten > 80 % nur im Leerlauf erreicht. Mit zunehmender Drehzahl fallen die Regenerationsraten

ohne Additiveinsatz und 10 ppm Additivkonzentration deutlich ab, so daß bei der verfügbaren Brennerleistung von 22 kW keine ausreichenden Regenerationsraten erzielt werden.

Ab einer Cer-Konzentration von 20 ppm im Dieselkraftstoff konnten im gesamten Drehzahlband zufriedenstellende Regenerationsraten ermittelt werden.

3.4.5 Prüfstandsuntersuchungen - HJS

Zur Überprüfung und Optimierung des Gesamtsystems bestehend aus Filter, Brenner und Additivdosierung wurden diverse Untersuchungen sowohl im Hause HJS Fahrzeugtechnik GmbH, Menden wie auch bei dem CUTEC-Institut GMBH, Clausthal-Zellerfeld durchgeführt.

3.4.5.1 Versuche am Motor KHD F3L913 G

Das Filtersystem wurde am Gabelstapler Linde 351 mit KHD-Motor F3L913 G aufgebaut und dieser mittels eines elektro-pneumatischen Fahrsimulators in folgendem Zyklus betrieben:

- 3 sec. Teillast bei 1500 1/min (Heben der Gabel bis Anschlag)
- 2 sec. bei 1800 1/min, Vollast (gegen Hydraulik)
- 8 sec. Leerlauf

Der Testzyklus wurde über eine Gesamtbetriebszeit von 350 Stunden durchgeführt. Hierbei wurde das System optimiert und abgestimmt.

3.4.5.2 Komponententest im Dauerlauf

Zur Überprüfung der Dauerhaltbarkeit aller Komponenten wurde das System über einen Zeitraum von 200 Stunden auf dem Prüfstand getestet. Der Fahrzeug-Motor wurde durch einen Diesel-Brenner simuliert, so daß Abgastemperaturen von 450 °C kontinuierlich realisiert werden konnten.

Durch das Zuschalten des HJS-Regenerationsbrenners in einem Zeitintervall von 15 Minuten für eine Dauer von 120 Sekunden wurde eine Simulation von 2.400 Betriebsstunden innerhalb kurzer Zeit erreicht.

Diesen Dauerlauftest haben alle Komponenten ohne Probleme absolviert.

3.4.6 Untersuchungen – CUTEC

Die CUTEC-Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld, wurde beauftragt im Rahmen des Entwicklungsvorhabens begleitende Untersuchungen durchzuführen. Die Untersuchungen wurden während der Projektphase II zu folgenden Themenbereichen durchgeführt:

1. Emissionen des Brenners bei der brennergestützten Regeneration des Dieselpartikel-Filtersystems unter Berücksichtigung der Einflußgrößen:
 - Beladungszustand des Filters
 - Brennerdüse
 - Brenner-Lufthülse
 - Brennerluftventil-Schaltzeiten
 - Brennraumtemperatur
 - Additiv
2. Filterregenerationen im stationären Motorbetrieb und während der brennergestützten Regeneration mit und ohne Additivzugabe
3. Emissionsuntersuchungen der limitierten und nicht limitierten Abgaskomponenten im stationären Motorbetrieb und bei der brennergestützten Regeneration mit und ohne Additiv
4. Entwicklung eines Vor-Ort-Schnelltestverfahrens für Cer

Die Ergebnisse sind in einem separaten Abschlußbericht zusammengefaßt /2/.

3.4.7 Stellungnahme und Bewertung der erzielten Ergebnisse

Die in dem CUTEC-Bericht ausgegebenen Empfehlungen zur Minderung der Emissionen des Brenners bei der brennergestützten Regeneration des Dieselpartikel-Filtersystems sind sowohl in der Auswahl der Brennerkomponenten (Kraftstoffdüse, Lufthülse) wie auch in der Software (Brennerluft-Schaltzeiten, Mindest-Brennraumtemperatur zu Zündbeginn) berücksichtigt. Diese Ergebnisse decken sich mit unseren Erfahrungen hinsichtlich sichtbarer Brennerstartemissionen.

Die von HJS in Vorversuchen an Staplern im realen Betriebseinsatz festgelegte Additivkonzentration von 20 ppm (siehe auch Kapitel 3.4.4) in Kombination

mit der brennergestützten Regeneration wird auch durch die CUTEC-Untersuchungen bestätigt. Eine Erhöhung der Additivkonzentration auf 40 ppm führt auch in den von CUTEC durchgeführten Untersuchungen nur noch zu geringen Verbesserungen im Filterregenerationsverhalten und muß abhängig vom Motor und dessen Rußemission optimal abgestimmt werden.

Ein Vor-Ort-Schnelltestverfahren für das verwendete Additiv Cer wäre sehr vorteilhaft, da hiermit in kürzester Zeit die Funktion des Additivdosiersystems überprüft werden könnte. Systemfehler, die nicht gleich den Ausfall eines Bauteiles bedeuten, können z. Zt. nur sehr eingeschränkt ermittelt werden. Allerdings erscheint der Analyseaufwand zur Bestimmung von Cer sehr hoch und geht, nach eigener Aussage der CUTEC, über das Maß einer üblichen Vor-Ort-Analytik hinaus.

3.5 Prototypenmeßtechnik

Das Meßdatenerfassungssystem (MDE) wurde zur Überwachung von Prototypenfahrzeugen im Feldeinsatz entwickelt. Es ist modular aufgebaut und kann je nach Anforderung mit den erforderlichen Meßkarten bestückt werden. Eine wesentliche Eigenschaft dieses Meßdatenerfassungssystems ist seine autarke Funktion, die einen Meßbetrieb über längere Zeiträume (bis zu 3 Monaten) erlaubt (Bild 3.5-1 und 3.5-2).

Der Grundträger der MDE

In das Grundsystem können max. 8 Meßkarten und ein Aufzeichnungseinschub, welcher alle Meßwerte der Meßkarten auf eine PCMCIA-Festplatte (zwischen 20 und 160 MB Speicherkapazität) aufzeichnet, eingesteckt werden. Der Grundträger verbindet alle Signal- und Versorgungsleitungen der Meßkarten miteinander.

In einem 9,5“-Grundträger sind folgende Baugruppen integriert:

- Netzteil
- Busplatine
- Gehäuse

Netzteil

Die MDE wird von dem Fahrzeugbordnetz versorgt. Der Eingangsspannungsbereich liegt von 9V - 36V galvanisch getrennt. Alle Meßkarten und der Aufzeichnungseinschub werden von dem Netzteil über die Busplatine mit stabilisierten Betriebsspannungen von $\pm 15V$ bis 0,5A und +5V bis 5A und einer +5V-Referenzspannung versorgt. Die Referenzspannung wird zum Abgleich der analogen Meßkanäle benötigt.

Aufzeichnungseinschub

Die von den Meßkarten aufbereiteten Signale werden über die Busplatine an den Aufzeichnungseinschub analog mit einem Normspannungsbereich 0-10V übermittelt. Der Aufzeichnungseinschub kann hierbei 15 Analogkanäle mit einem Dynamikbereich von $\pm 10V$ messen. Jeder Kanal kann mit einer flexiblen Abtastfrequenz von mindestens 1 ms aufgezeichnet werden. Die hierbei vom 12-Bit A/D-Wandler ermittelten Zahlenwerte werden anschließend auf ihren jeweiligen Meßbereich normiert und dadurch der Zusammenhang zwischen der physikalischen Eingangsgröße und dem Meßwert geschaffen.

Die daraus entstandenen Werte werden auf einer PCMCIA-Karte gespeichert.

Der Aufzeichnungseinschub besitzt eine LCD-Anzeige, die die folgenden Informationen zur Funktionskontrolle der MDE visualisiert:

- Datum
- Zeit
- Status der MDE
- Verfügbarer Speicherplatz der Festplatte
- Sequentielle Anzeige der aktuellen Meßwerte

Die Auswertung der MDE-Daten sowie die Konfiguration des Meßsystems werden über einen PC vorgenommen.

Meßkarten

Zur Messung der verschiedenen relevanten Größen stehen folgende Meßkarten zur Verfügung:

- Temperatur NiCr-Ni Typ K (Meßbereich: 0 - 1000 °C)
- Druck (Meßbereich 0 – 1,0 bar, relativ)
- Spannung (Meßbereich: 0 – 1,0V und 0 – 10V)

Die Meßkarten beziehen ihre Stromversorgung von der Busplatine der MDE. Um die einzelnen Signale der Meßkarten unterscheiden zu können, ist es notwendig, jedem Signal einen eindeutigen Übertragungskanal zu zuordnen. Die Zuordnung der Meßwerte erfolgt über einen Wahlschalter auf der jeweiligen Meßkarte. Die hierbei eingestellten Übertragungskanäle müssen in der Konfiguration des Aufzeichnungseinschubes hinterlegt werden.

MDE – PC-Software

Zur Bedienung des Meßdatenerfassungssystems ist eine entsprechende PC-Software entwickelt worden. So kann der Bediener alle Funktionen der MDE vor Ort per Laptop programmieren und aufgezeichnete Daten auslesen. Die MDE-Software bietet folgende Funktionen:

- Meßdatenanzeige
- Dateiverwaltung
- Festplatteneditor
- Konfiguration
- Information

Zur Auswertung der Daten kann über Standard-PC-Anwendungssoftware (z.B. Excel, DIADEM erfolgen). Hierzu werden die Daten in entsprechendem Dateiformat über die serielle Schnittstelle auf den PC transferiert.

3.6 Prototypenentwicklung Flurförderfahrzeuge

Zur Überprüfung der Dieselpartikel-Filtersysteme unter realen Betriebsbedingungen befinden sich acht Gabelstapler der Fa. Linde der Baureihen 350 / 351 / 352 / 353 mit unterschiedlicher Größe (1,6 to bis 8,0 to Hubgewicht) und Motorisierung im Feldeinsatz.

Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzbedingungen wurden bislang Betriebszeiten von 200 Stunden bis zu 2400 Stunden erzielt. Die Systeme werden auch nach Projektabschluß in den Fahrzeugen verbleiben, um weitere Betriebserfahrungen zu sammeln.

Die Bilder 3.6-1 und 3.6-2 zeigen exemplarisch den Aufbau des Filtersystems am Linde Typ 350. Bei diesem Typ konnten die erforderlichen Brennerkomponenten im Heck (Bild 3.6-1) und das Dosiersystem im Motorraum (Bild 3.6-2) so angeordnet werden, daß keine Zusatzauf- oder anbauten sichtbar sind.

Die im Heck serienmäßig verbaute Batterie wurde in die für Gasausführungen vorbereitete Aufnahme im Motorraum plaziert.

Eine Übersicht über den Status der Stapler ist als Anlage beigelegt.

3.7 Prototypenentwicklung Kommunalfahrzeuge

Für den Bereich Kommunalfahrzeuge wurden insgesamt drei Fahrzeuge mit Dieselpartikelfiltersystem aufgebaut.

Es befinden sich zwei Mercedes Benz Fahrzeuge des Typs Unimog U 1400 und ein Fahrzeug der mittelschweren Nutzfahrzeug-Baureihe ATEGO von DaimlerChrysler in der Felderprobung.

Für die beiden Unimogs wurden Filterpakete mit zwei Modulen aufgebaut, die nebeneinander angeordnet sind. Somit ergibt sich für die Motorleistung von 100 kW eine Filterfläche von 1,6 qm. Der Brenner wurde unverändert übernommen. Allerdings mußte das Regenerationsintervall auf eine Stunde reduziert werden, um den maximalen Abgasgedruck auf 300 mbar zu begrenzen.

Für den ATEGO Typ 1217 mit 125 kW Motorleistung wurden die Standardmodule um 50% vergrößert, d.h. die Zahl der Filtertaschen auf 28 Stück erhöht. Durch den Einsatz von zwei Modulen ergibt sich hier eine Filterfläche von 2,4 qm.

Die Brennerleistung wurde aufgrund der größeren Filterfläche und des Abgasvolumenstroms auf 30 kW erhöht.

Um die –im Vergleich zum den Gabelstaplern- doppelte bis dreifache Filterfläche bei gleicher bzw. nur geringfügig gesteigerter Brennerleistung sicher regenerieren zu können, wurde in beiden Fällen die Additivkonzentration auf 40 ppm Cer DPX 9 erhöht.

Eine Übersicht über den Status der Kommunalfahrzeuge ist ebenfalls als Anlage beigefügt.

4. Fazit

Die in Dieselmotoren enthaltenen Rußpartikel, insbesondere die lungengängigen Teilchen, stellen ein Gefährdungspotential für die Allgemeinheit dar /1/.

Die in der Atemluft in unseren Innenstädten und an den Arbeitsplätzen auftretenden lungengängigen Rußpartikel werden durch den Einsatz des Dieselpartikelfilters auf Sintermetallbasis zu mehr als 99% reduziert /2 /.

Das Hauptproblem bei allen derzeit verfügbaren Filtersystemen ist eine nicht unter allen Betriebsbedingungen sichergestellte Regeneration ohne manuelle Eingriffe.

Das nun entwickelte Dieselpartikelfiltersystem mit additiv- und brennergestützter Regeneration arbeitet vollautomatisch unter alle Motorbetriebsbedingungen und erfüllt somit alle Anforderungen der Fahrzeughersteller und Betreiber.

Die Kombination aus einem Filtermaterial auf Sintermetallbasis, welches sich durch hervorragende thermische und mechanische Eigenschaften auszeichnet, sowie einem vollautomatischen Dosiersystem und der Einsatz eines Brenners auf der Reinluftseite ermöglicht ein System, das universell nachrüstbar ist.

Gleichzeitig wird der Additiveinsatz auf ein Minimum reduziert und somit die Dauerhaltbarkeit des Filters bezüglich Ascheeintrag erheblich erhöht.

Die Prototypentest haben gezeigt, daß das System für Motorleistungen bis 125 kW eingesetzt werden kann. Allerdings wird das System durch die derzeit verfügbaren Brennerkomponenten (insbesondere Luftgebläse) in seiner maximalen Brennerleistung begrenzt. Für zukünftige Anwendungen mit größerer Motorleistung sind daher zusätzliche Entwicklungen erforderlich.

5. Literaturverzeichnis**Kapitel 3**

- /1/ N. N. Technical Data Sheet - DPX9
Safety Data Sheet - DPX 9
(1999), Rhodia GmbH Frankfurt

Kapitel 3.2

- /1/ N. N. Vorrichtung zur Dosierung von flüssigen Additiven zur
Reinigung eines Rußfilters im Abgassystem einer mit
Dieselkraftstoff betriebenen Verbrennungskraftmaschine
Gebrauchsmuster-Nr.: G 93 13 112.7,
Inhaber HJS Fahrzeugtechnik GmbH & Co

Kapitel 3.3

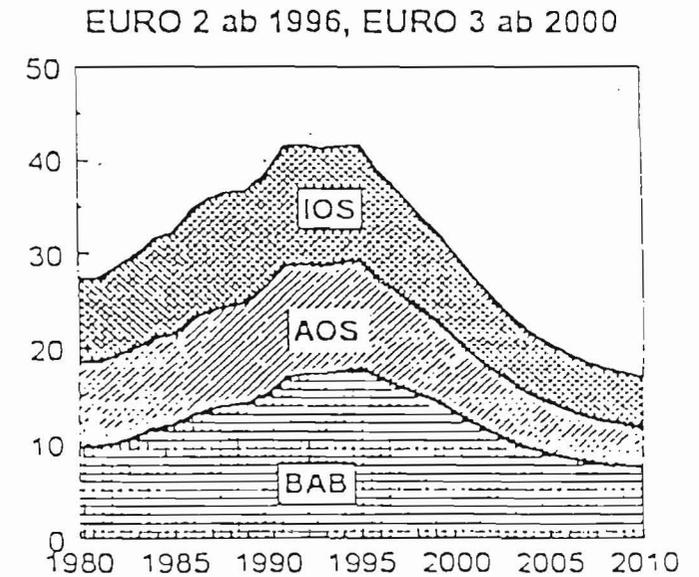
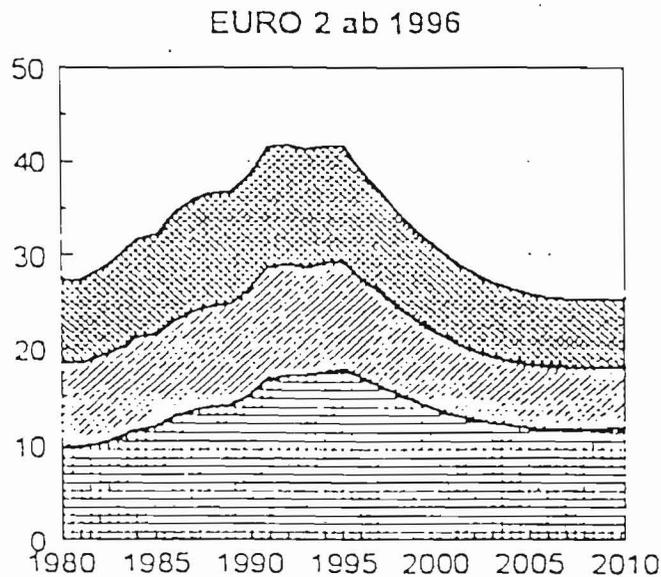
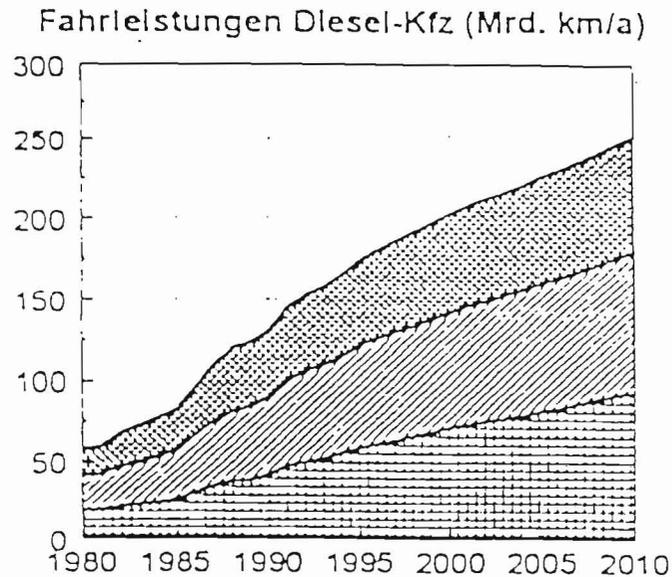
- /1/ Möschwitzer, Zuordnung und Kurzbewertung von Literatur-
G. daten zur Einschätzung der Gesundheits- und
Umweltgefährdung durch Cer-Emission
Umweltbüro Dr. Gerhard Möschwitzer & Partner (1994)
- /2/ Möschwitzer, Gutachterliche Äußerung zum Bericht von
G. Radian Corporation (1994):
“Risk Assessment of Ceric Oxide Diesel
Emissions Due to the Use of a Rhône Poulenc
Fuel Additive“
Umweltbüro Dr. Gerhard Möschwitzer & Partner (1995)
- /3/ Möschwitzer, Studie zur vergleichenden Risikoabschätzung von Cer-
G. Oxid und Dieselruß
Umweltbüro Dr. Gerhard Möschwitzer & Partner (1995)
- /4/ Mayer, A. Curtailing emissions of Diesel engines in tunnel sites
Results of a 4 year European joint project
VERT-Report W 11/12/97

- /5/ S. Rodt Beurteilung von Partikelfiltersystemen aus Sicht des UBA und zukünftige Entwicklung der Gesetzgebung
2. International Colloquium „Fuels“,
Technische Akademie Esslingen
Umweltbundesamt Berlin (Januar 1999)

Kapitel 3.4

- /1/ Hühwohl, G. Einrichtung zum Reinigen von Abgasen eines Dieselmotors
Koll, J. Patent Nr. DE 198 10 738 C1
Patentinhaber: HJS Fahrzeugtechnik GmbH&Co., Menden
- /2/ Claußen, M. Abschlußbericht zum Projekt „Partikelfilter mit additivgestützter Regeneration für die dieselmotorische Anwendung“
Gärtner, P.

Entwicklung der Fahrleistungen und Partikelemissionen 1980 - 2010



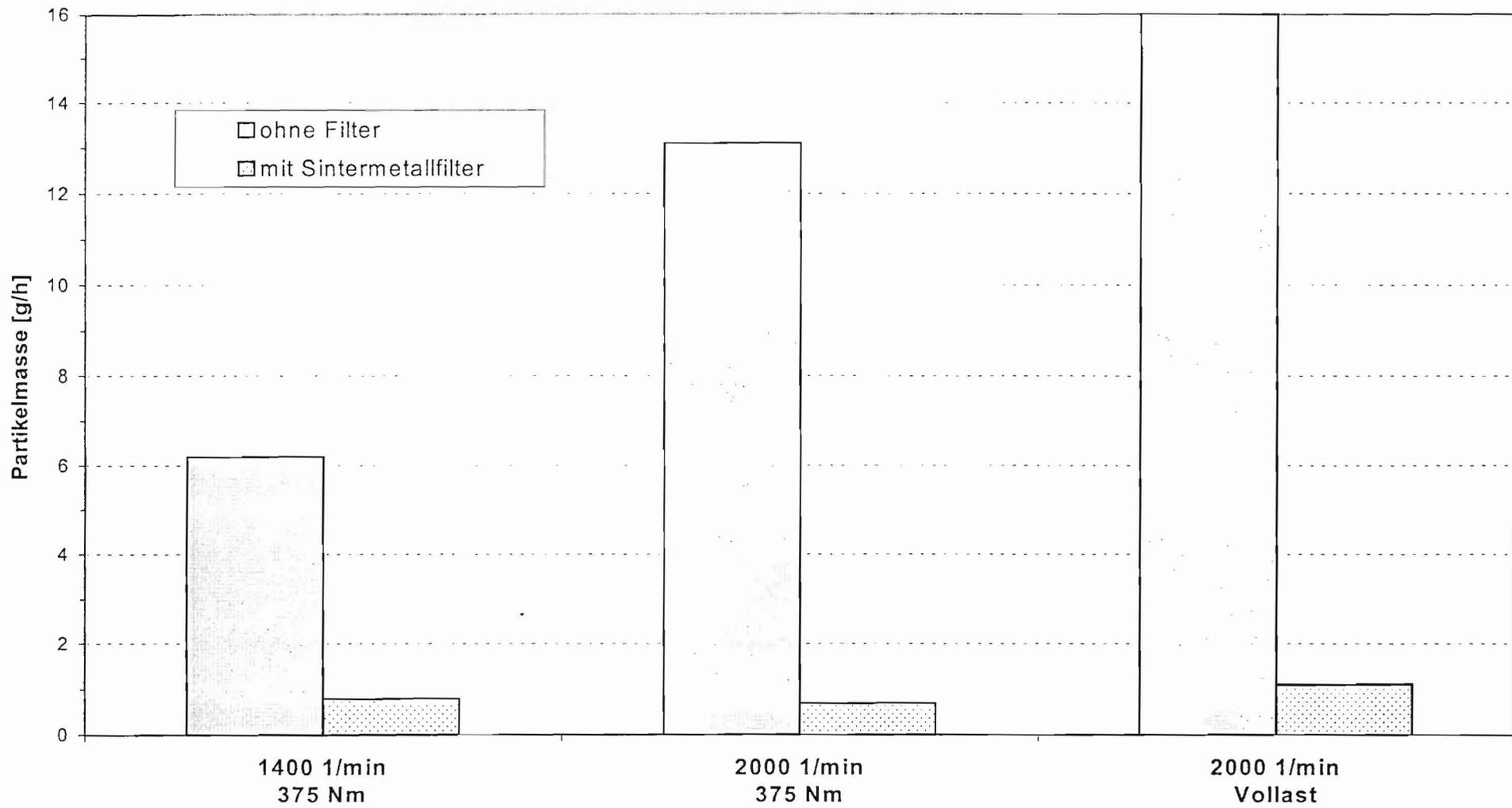
IOS: Straßenverkehr Innerorts

AOS: Straßenverkehr Außerorts

BAB: Straßenverkehr Bundesautobahn

Anmerkungen: Vorläufige Berechnung mit dem "Daten- und Rechenmodell", Stand 08.02.1996: Restwerte bis 1995, danach Trend-Szenario, berechnet unter der Annahme, daß alle neuzugelassenen Fahrzeuge ab 1996 der Emissionsstufe EURO 2 bzw. ab 2000 EURO 3 entsprechen; Fahrleistungen in Anlehnung an das Szenario H' der Bundesverkehrswegeplanung

Quellen: Verschiedene Basisdaten; Berechnungen des IFEU

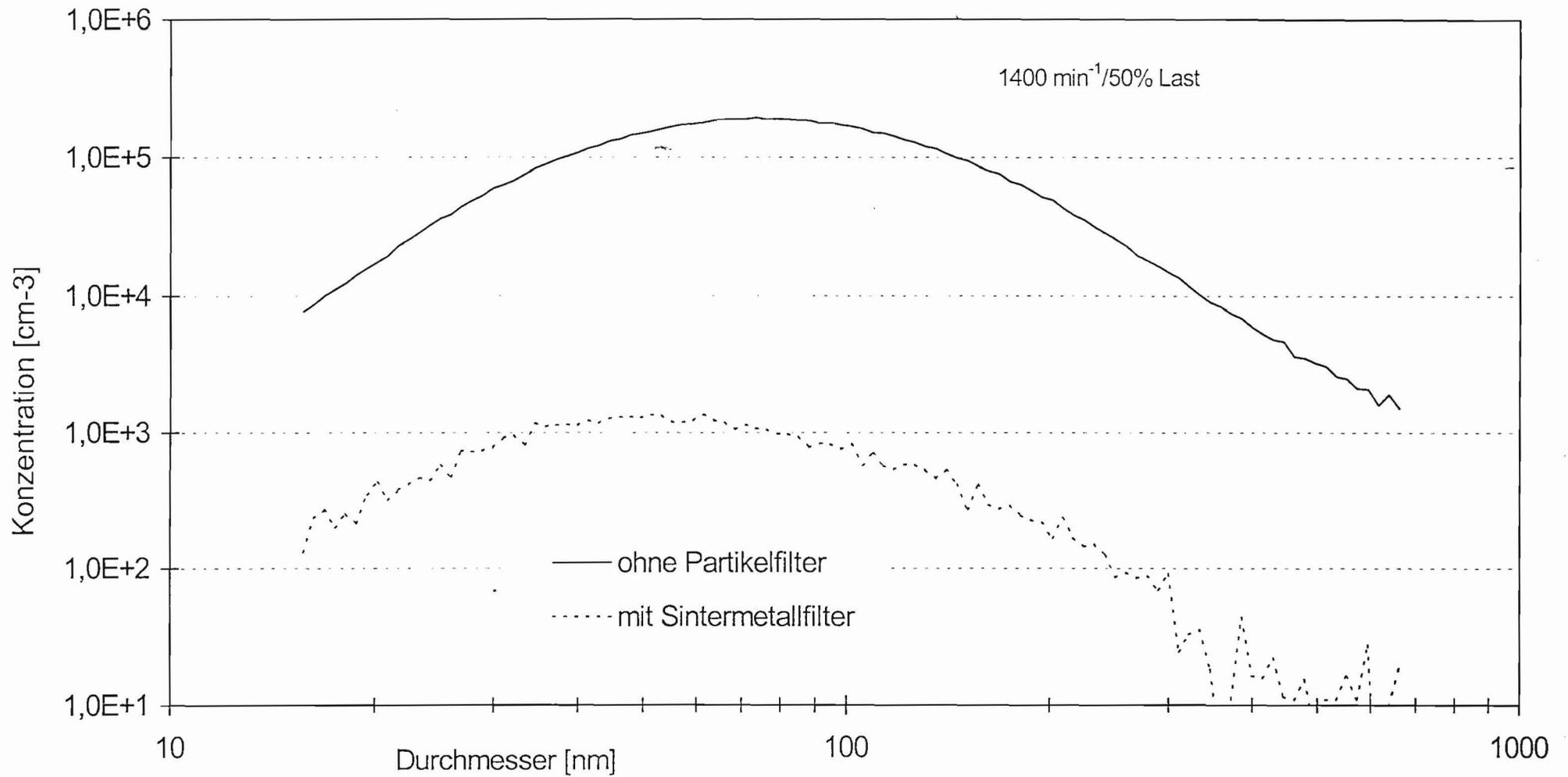


Motor: Liebherr 924 TI-E: 6,64 ltr. / 140 kW / DI, Turbo mit Ladeluftkühlung

VERT Projekt, Schweiz

Abb.: 3.3-1

Partikelemission

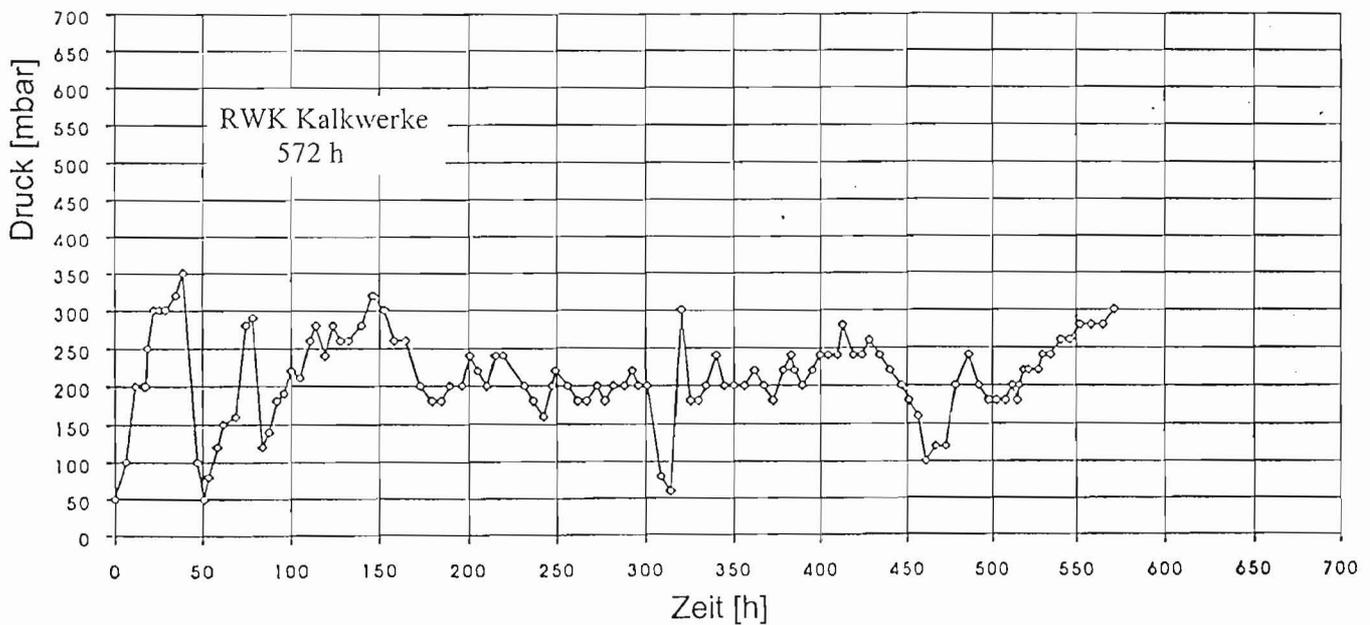
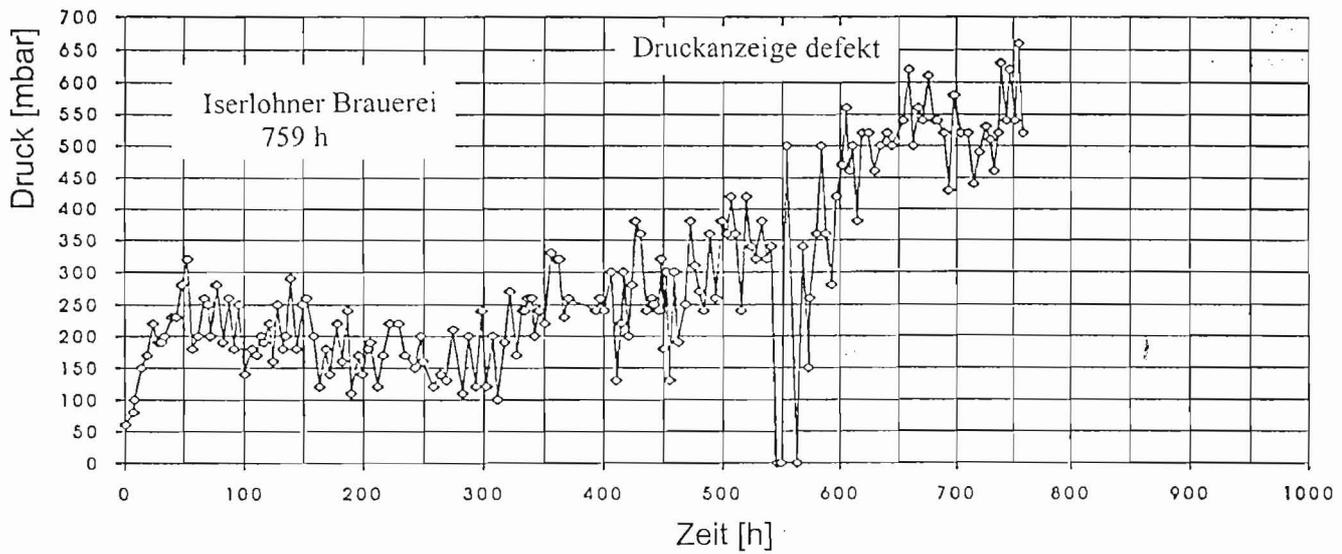
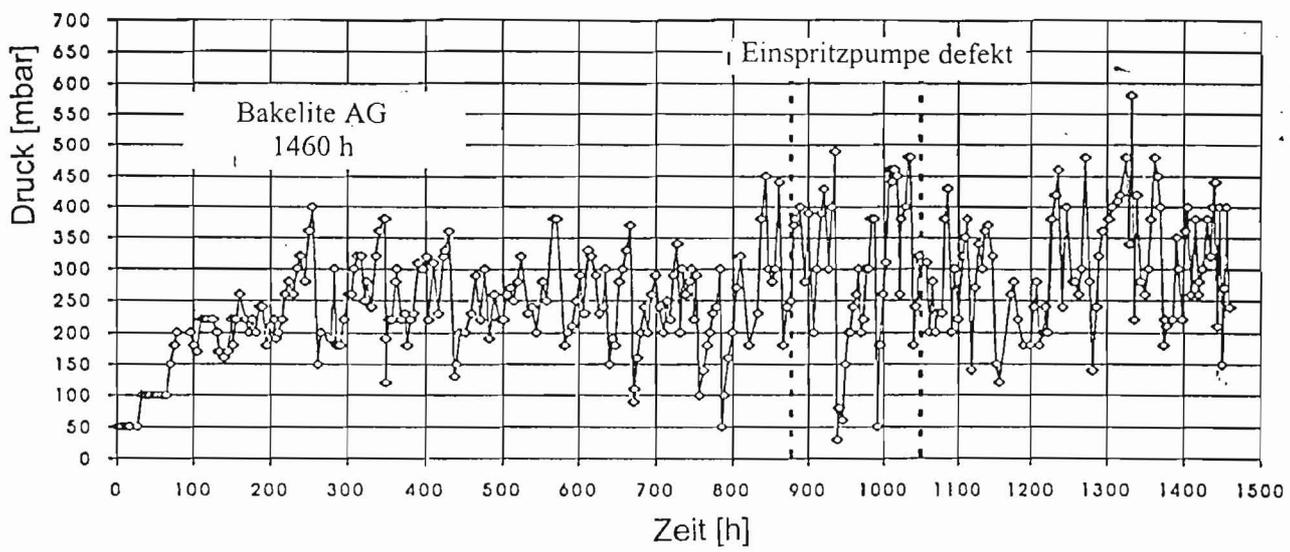


Motor: Liebherr 924 TI: 6.11 ltr. / 105 kW / DI, Turbo

VERT Projekt, Schweiz

Abb.: 3.3-2

Partikelgrößenverteilung

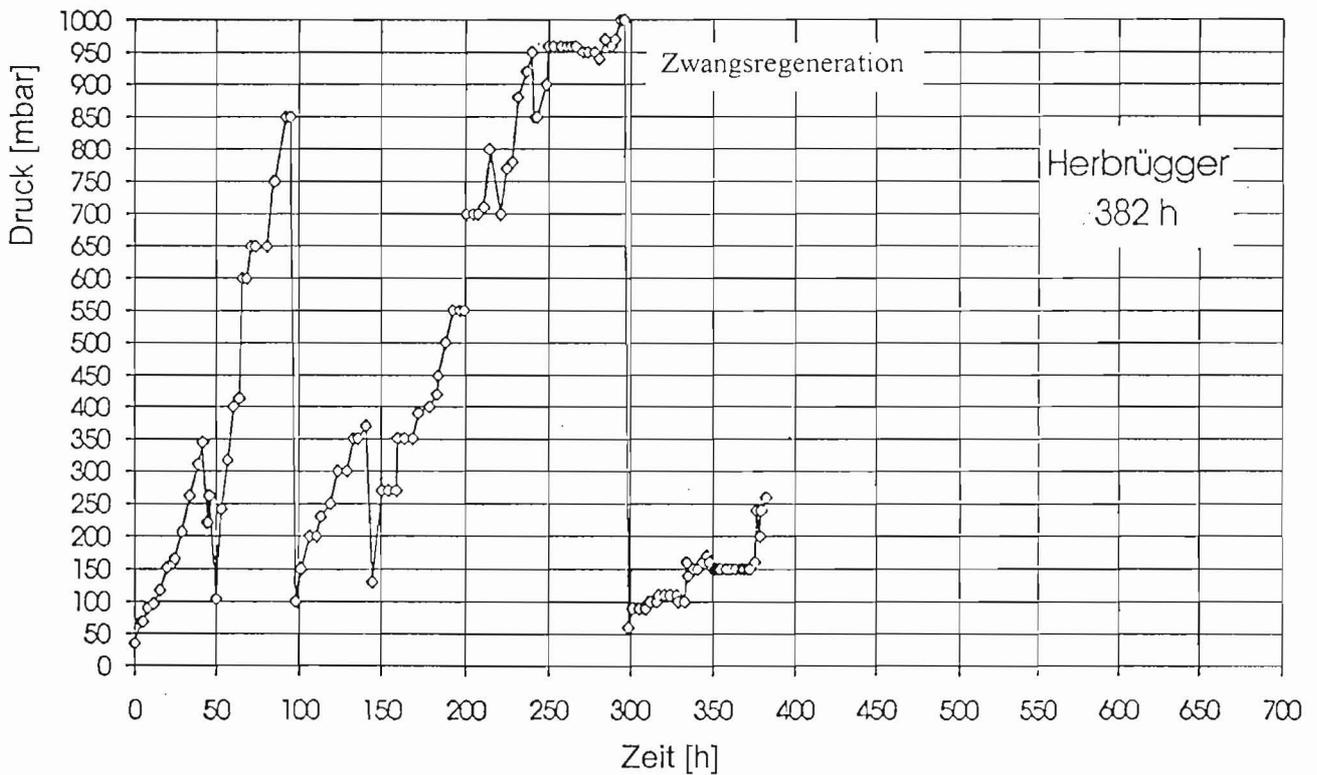
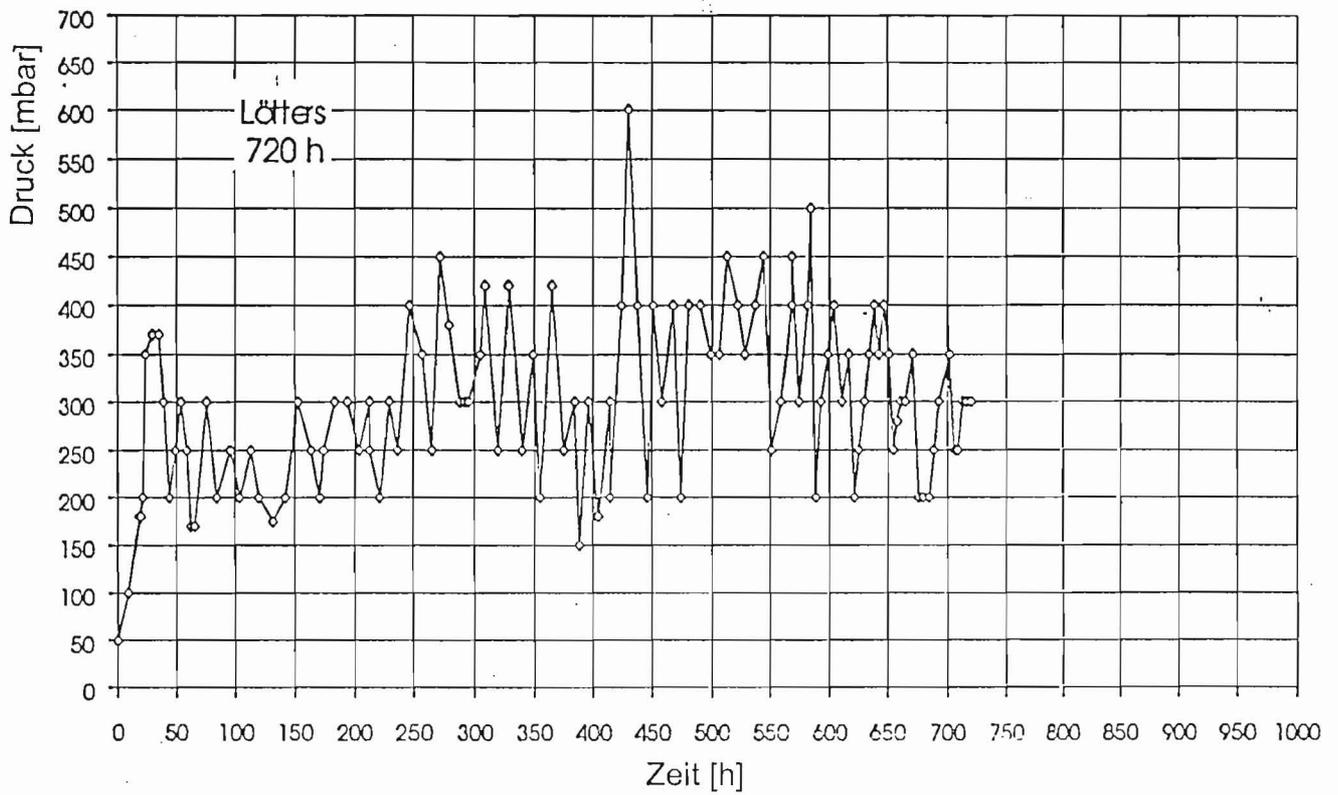


* Abgasgedruck gemessen bei Abregeldrehzahl ohne Last

Abb.:3.4-1

Gabelstapler Linde 351 KHD
mit additivgestützter Regeneration

HJS
Abgas-Systeme • Katalysatoren



* Abgasgedruck gemessen bei Abregeldrehzahl ohne Last

Abb.:3.4-2

Gabelstapler Linde 351 KHD

mit additivgestützter Regeneration

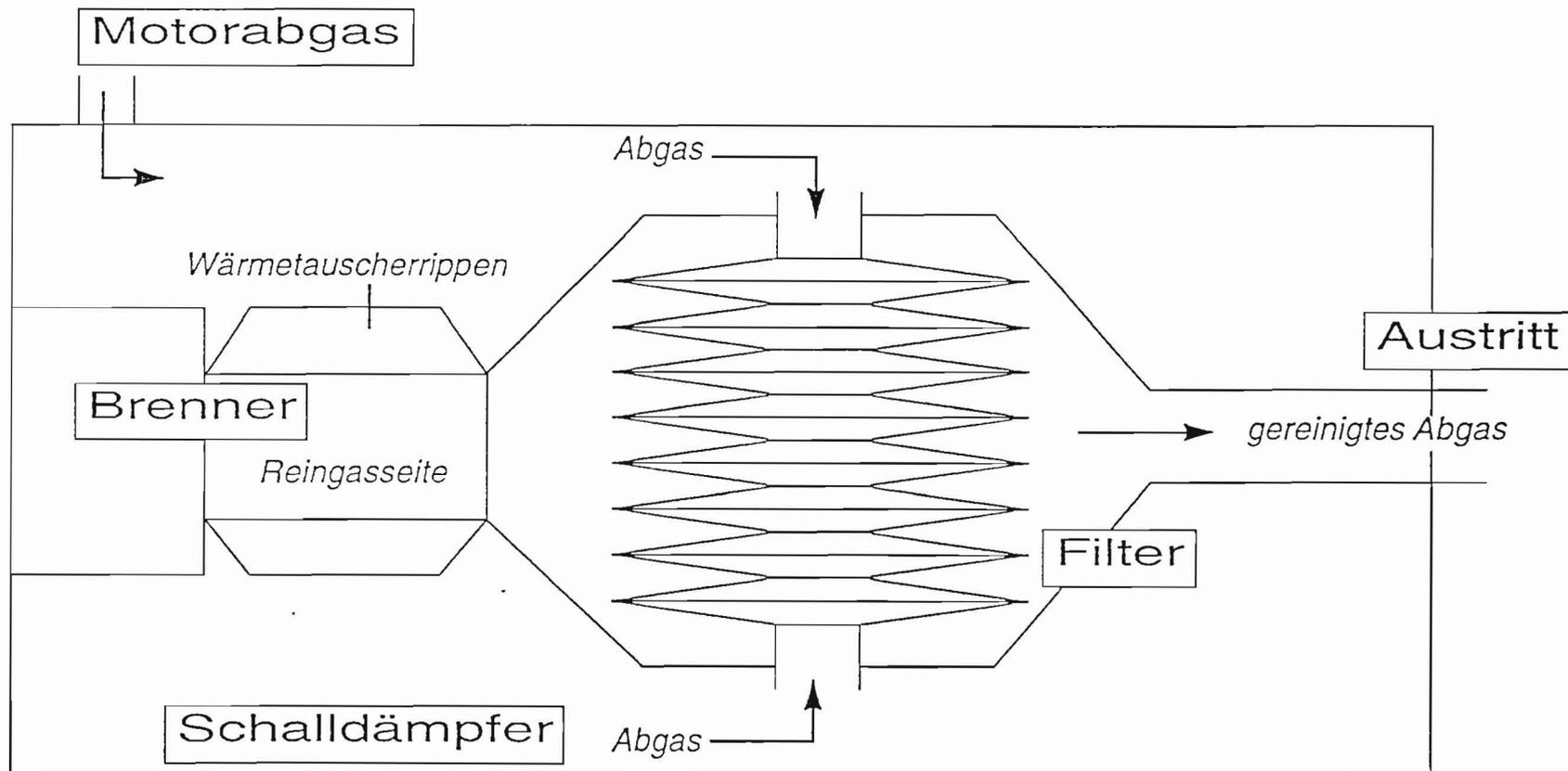


Abb.: 3.4-3

Filtersystem mit Brenner - Prinzipdarstellung

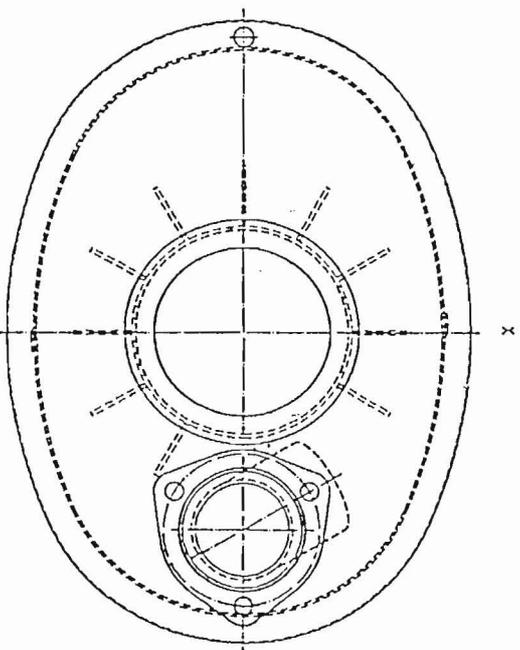
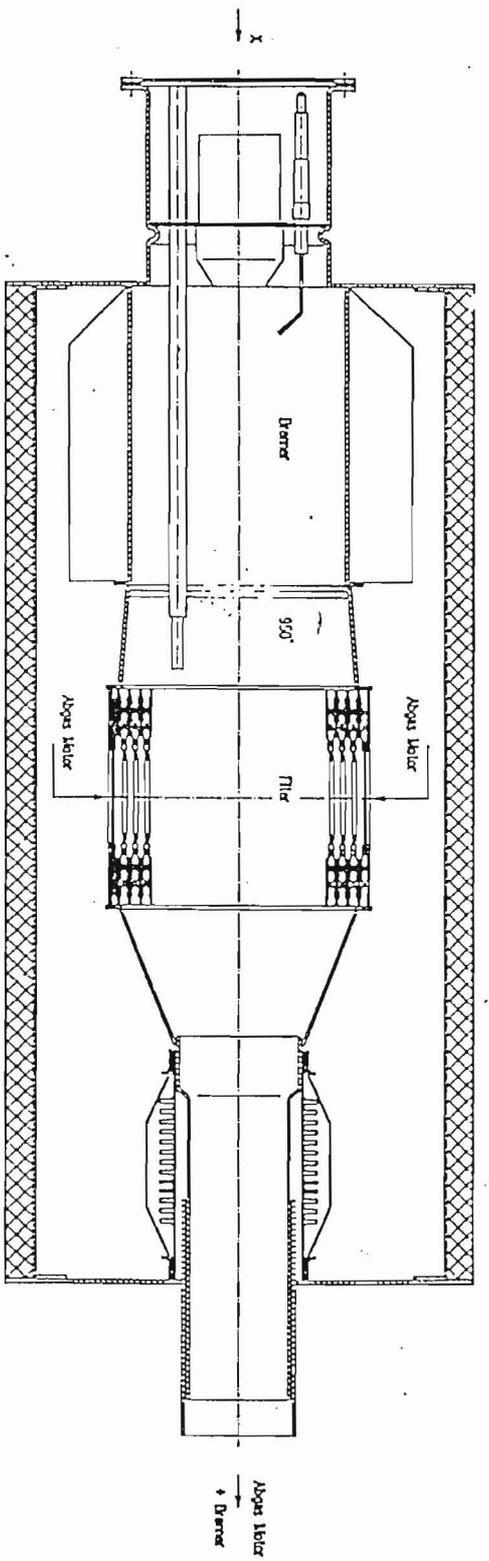


Abb.: 3.4-4

Aufbau des HJS Dieselpartikelfilters

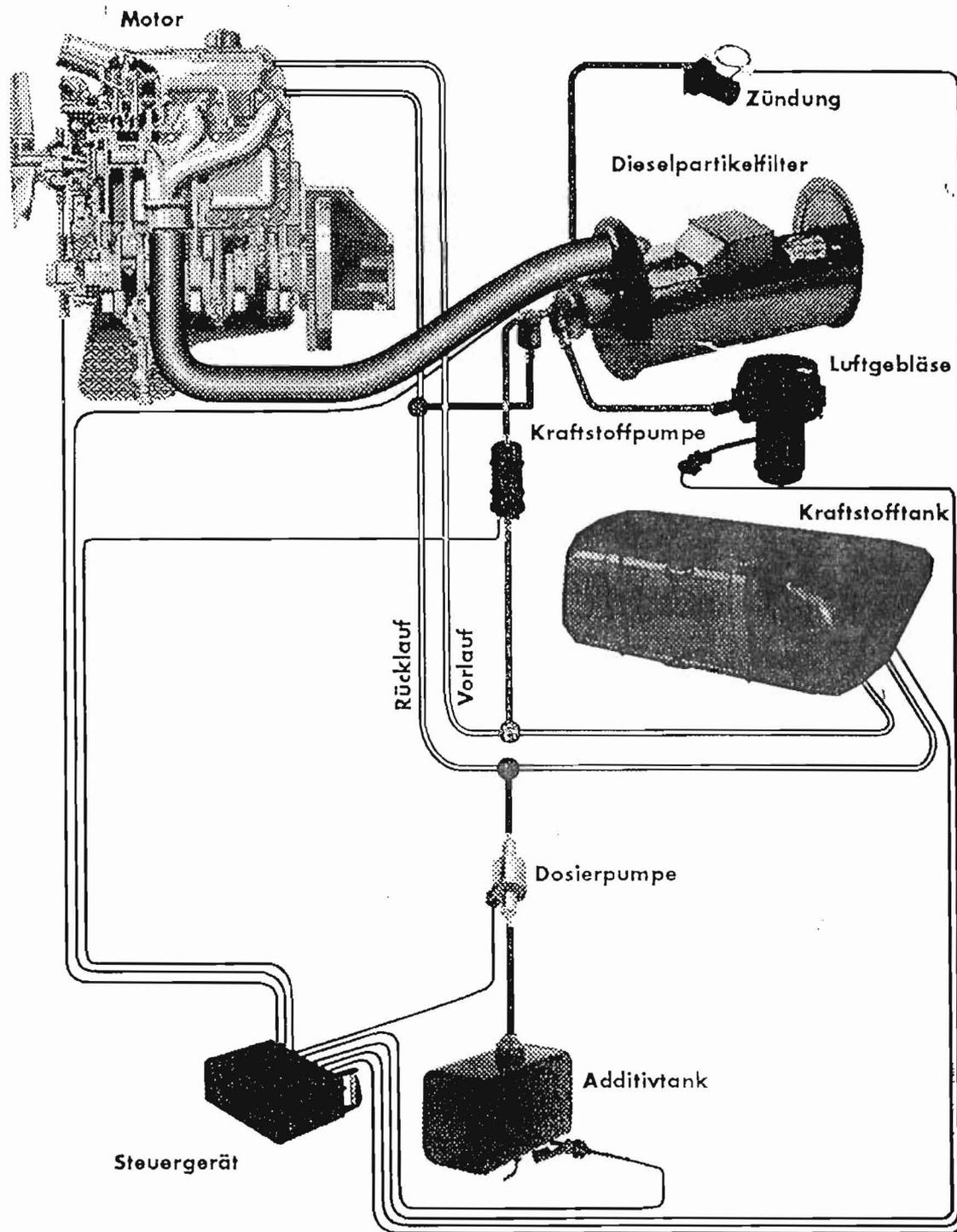
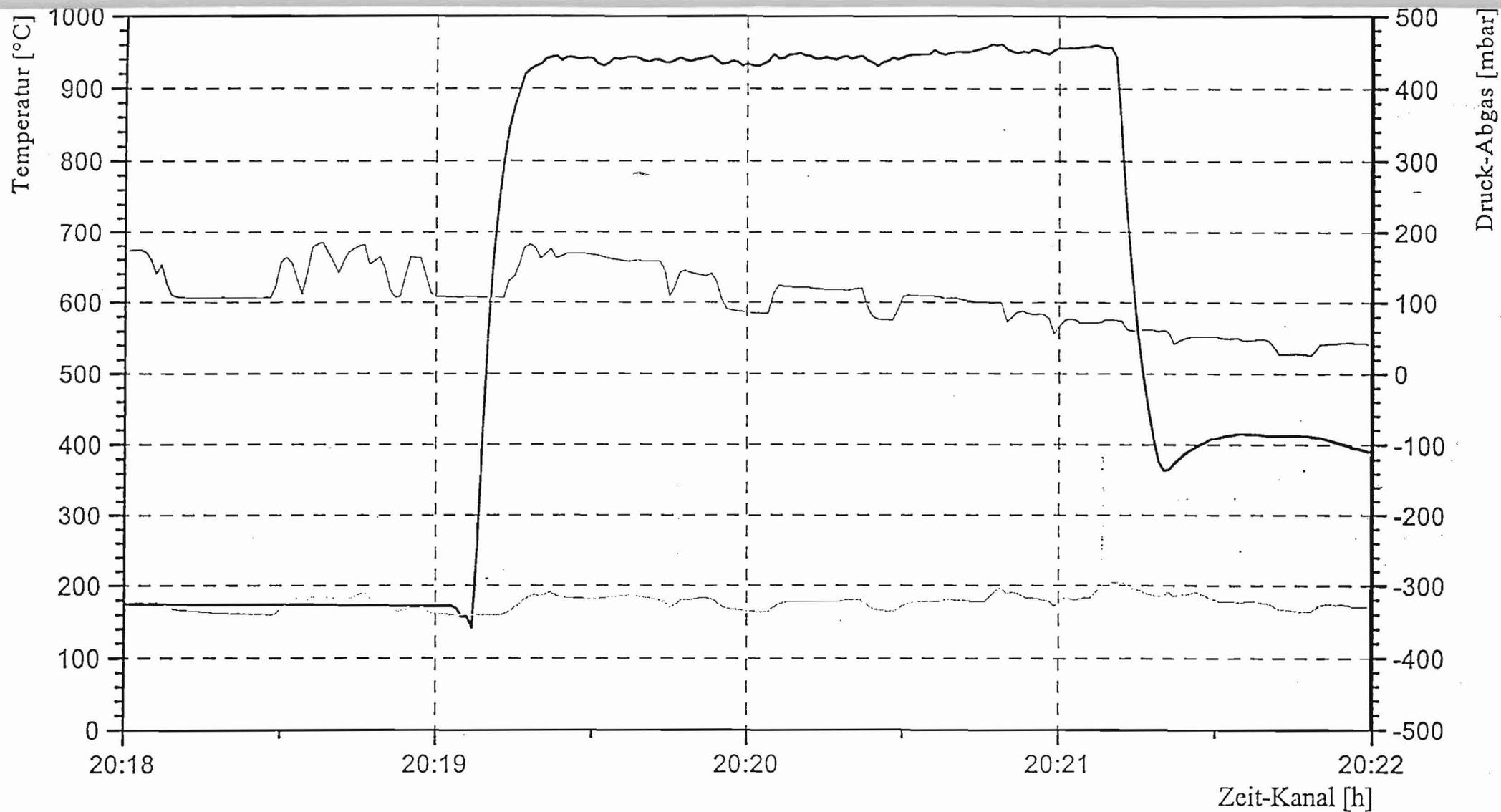


Abb.:3.4-5

Systemübersicht



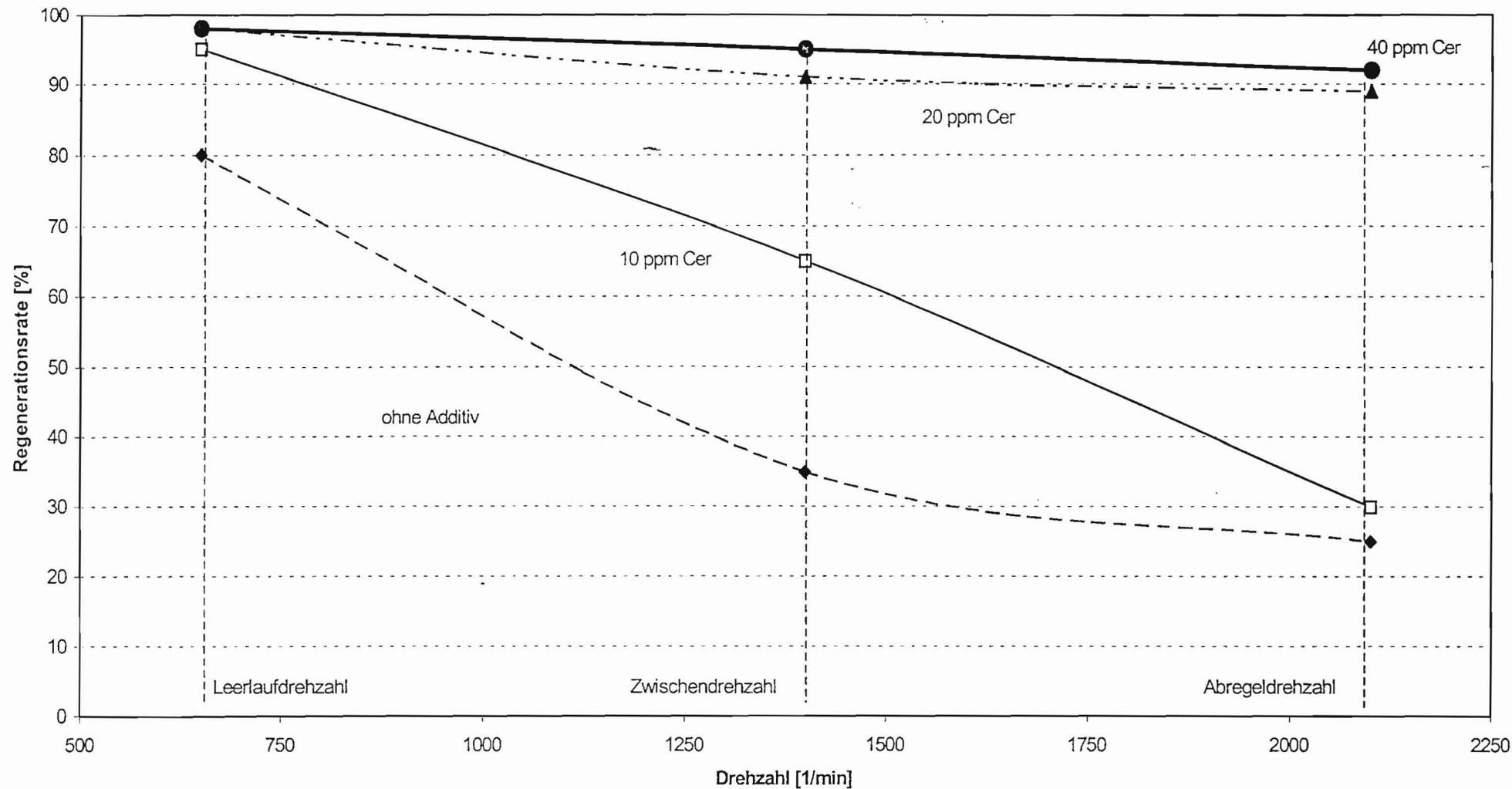
Filterfläche: 0,8 qm
 Additiv: 20 ppm Cer
 Brenner: 20 kW

Temp-Brenner Temp-Abgas Druck-Abgas

Abb.: 3.4-6

Dauerlauf Linde 351 KHD

Einsatzort: Spedition Haberle



Linde 351 – 35 kW

Abgasgedruck zu Testbeginn: 300 mbar

Brennerleistung: 22 kW

Abb.: 3.4-7

Additivkonzentration

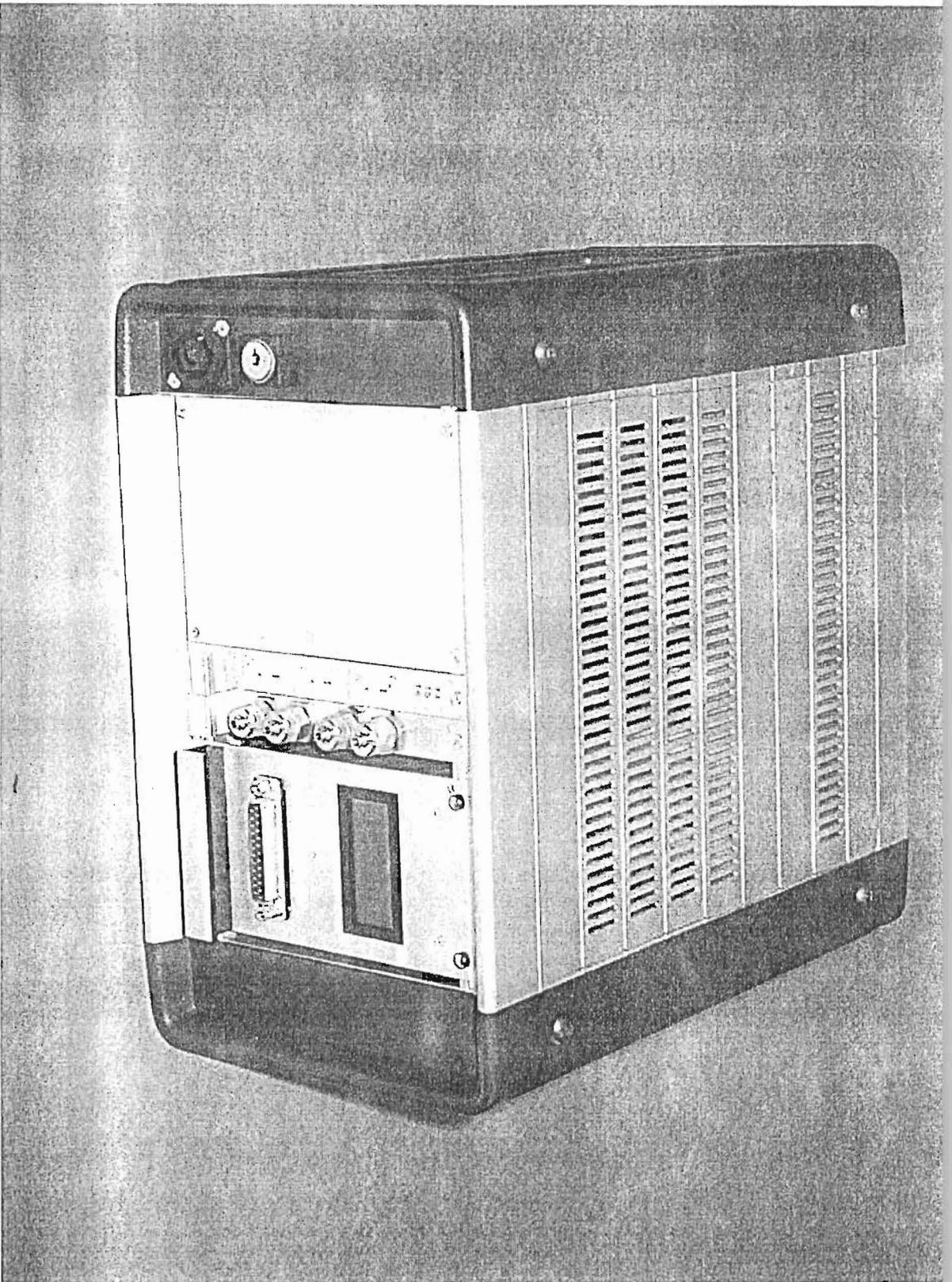


Abb.: 3.5-1

Meßdatenerfassungssystem (MDE)

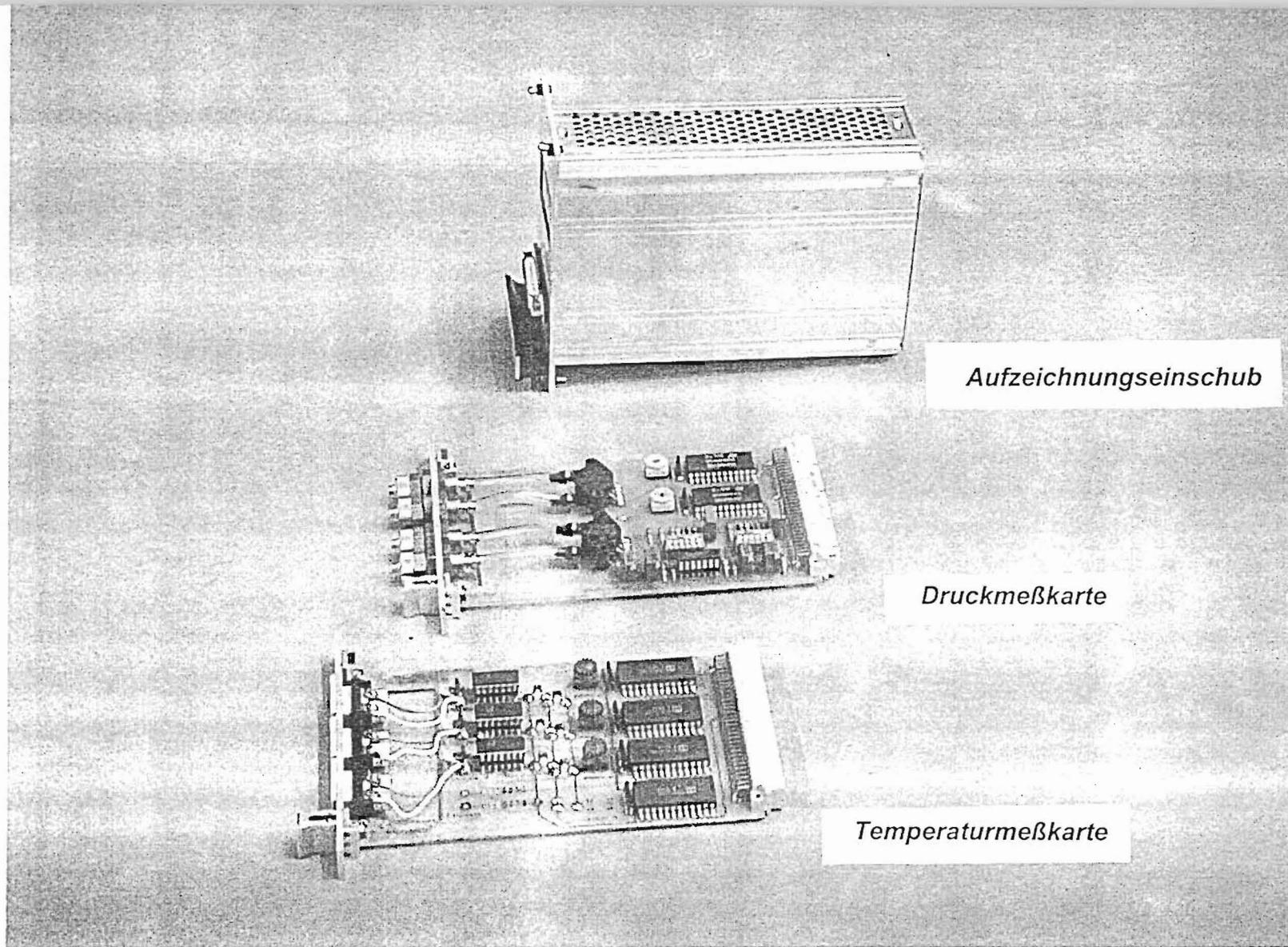


Abb.: 3.5-2

Aufzeichnungseinschub und Meßkarten

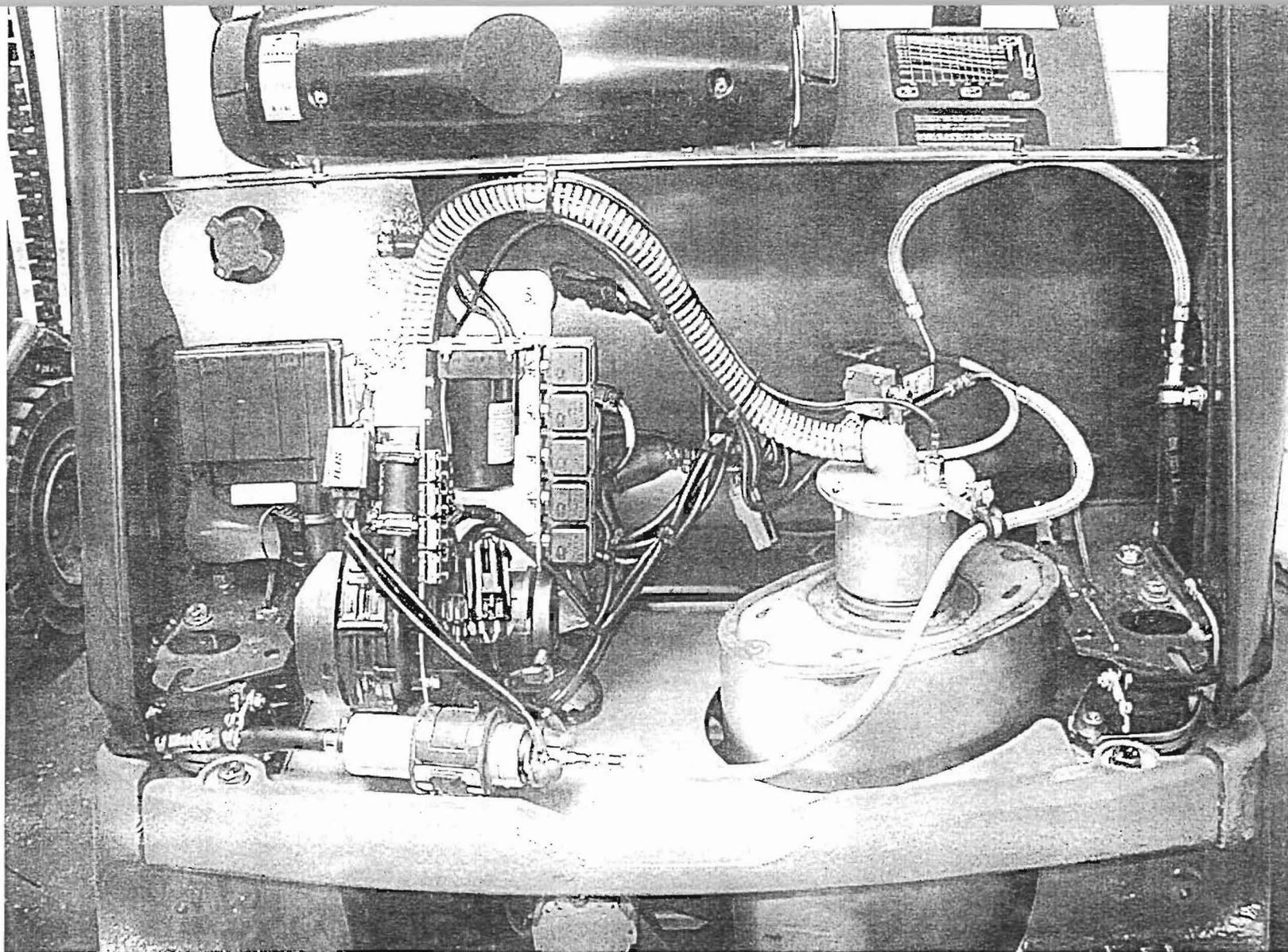


Abb.: 3.6-1

Gabelstapler Linde 350

Anordnung von Filter mit Brenner und Komponenten im Heck

HJS
Abgas-Systeme • Katalysatoren

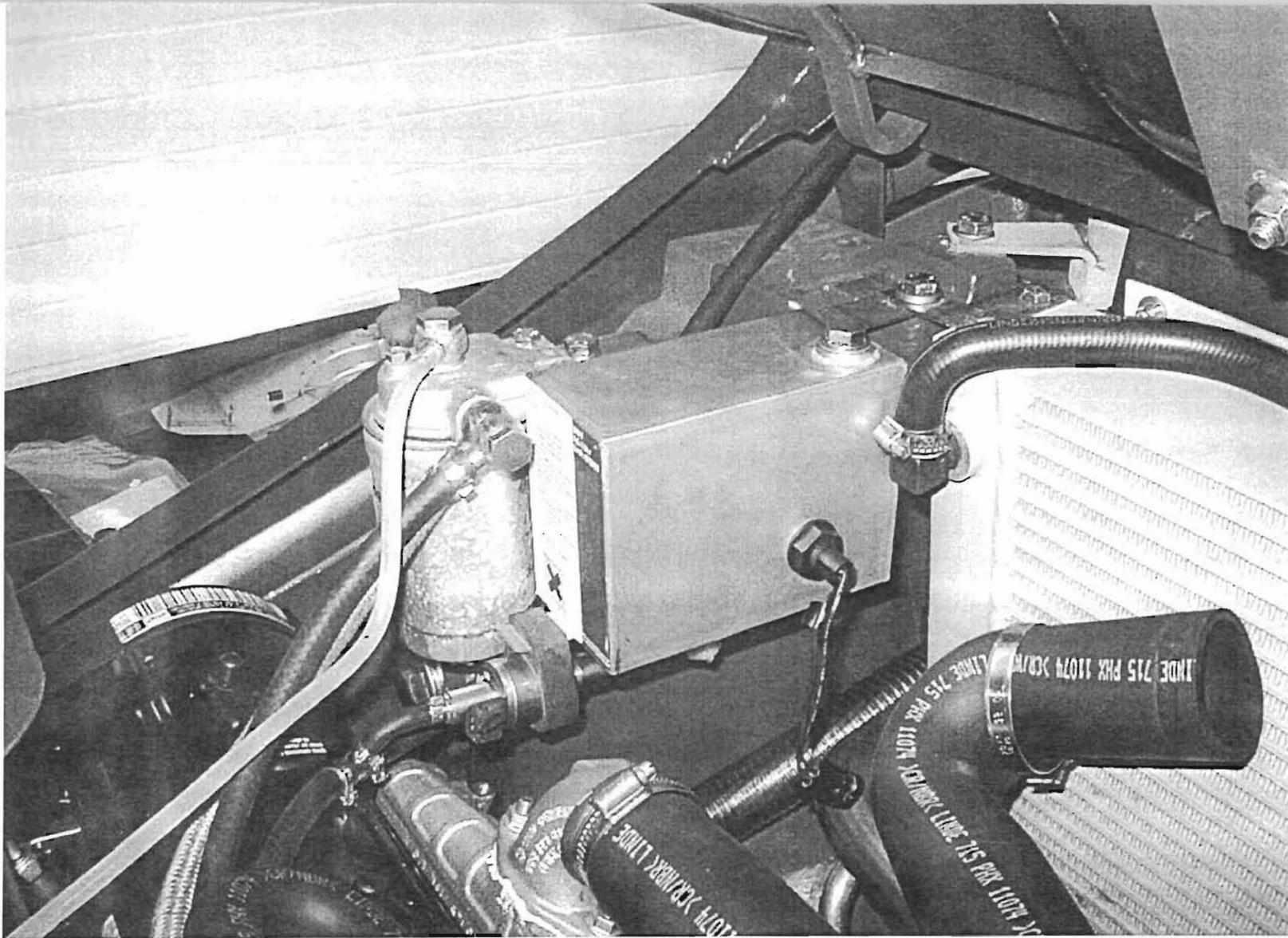


Abb.: 3.6-2

Gabelstapler Linde 350

Anordnung des Dosiersystems im Motorraum

Feldversuch Flurförderfahrzeuge Linde 351 KHD F3L913G

Prototyp 1:

Einbau: April 1998
Einsatz: Spedition
Status: 800 Betriebsstunden
Bemerkungen: Düsenverkokung der Brennerdüse
Maßnahmen: Entwicklung einer kontinuierlichen Kühlung des Düsenstocks

Feldversuch Flurförderfahrzeuge

Linde 351 Motor Perkins

3,5 Tonnen Hubkraft

Prototyp 2:

Einbau: Mai 1998
Einsatz: Baumarkt Menden
Status: 800 Betriebsstunden
Bemerkungen: Elektrische Fehler (Korrosion) nach intensivem Dampfstrahlereinsatz
Maßnahmen: Zusätzlicher Spritzschutz am Brenner und Abdichtung am Geräteträger

Prototyp 3:

Einbau: Juli 1998
Einsatz: Gießerei Aschaffenburg
Status: 2400 Betriebsstunden
Bemerkungen: Düsenverkockung des Brenners nach 100 Bh
Maßnahmen: Kontinuierliche Kraftstoffkühlung des Düsensocks ⇒ danach OK

Feldversuch Flurförderfahrzeuge Linde 351 Motor Perkins 3,5 Tonnen Hubkraft

Prototyp 4:

Einbau: September 1998
Einsatz: Mietstapler bei Metallverarbeitung
Status: 1600 Betriebsstunden
Bemerkungen: Riß an der Schweißnaht am Filterelement (Anschlußring)
Maßnahmen: Konstruktive Überarbeitung des Filterelementes ⇒ danach OK

Prototyp 5:

Einbau: Februar 1999
Einsatz: Milchwerke
Status: wurde nach 1300 Betriebsstunden ausgebaut
Bemerkungen: Temperaturfühler defekt, Schwingungsbruch. Filterelement am Anschluß gerissen.
Maßnahmen: Analyse beim Sensorhersteller, zusätzliche Abstützung sowie kürzerer Fühler, Einbau eines Filters nach neuer Konstruktion

Feldversuch Flurförderfahrzeuge

Linde 350 Motor VW

1,8 Tonnen Hubkraft

Prototyp 6:

Einbau: April 1999
Einsatz: Mietstapler
Status: 800 Betriebsstunden
Bemerkungen: keine Probleme

Komponenten identisch zu Linde 351, Anordnung unter der Serienhaube
Batterie umgesetzt in den Motorraum wie bei der Gasausführung

Feldversuch Flurförderfahrzeuge

Linde 352 Motor Perkins

4,5 Tonnen Hubkraft

Prototyp 7:

Einbau: Juli 1999
Einsatz: Mietstapler
Status: 800 Betriebsstunden
Bemerkungen: keine Probleme

Komponenten identisch zu Linde 351/350

Feldversuch Flurförderfahrzeuge
Linde 353 Motor KHD BF 6 M 1012 E
8,0 Tonnen Hubkraft

Prototyp 8:

Einbau: Januar 2000
Einsatz: Getränkegroßhandel
Status: 300 Betriebsstunden
Bemerkungen: keine Probleme

Leistungsgesteigerter Brenner durch Einsatz von zwei Luftgebläsen und größerer Kraftstoffdüse -
Komponenten identisch zu Linde 351/350

Filterfläche: 2,5 qm (entspricht der dreifachen Fläche eines Linde 351)

Feldversuch Kommunalfahrzeug MB Unimog U1400

Prototyp 1:

Einbau: September 1998

Einsatz: Werksverkehr

Status: 320 Betriebsstunden

Bemerkungen: Diverse Elektronikprobleme durch 24V-Spannungsversorgung

Maßnahmen: 24/12V - Spannungswandler

Feldversuch Kommunalfahrzeug MB Unimog U1400

Prototyp 2:

Einbau: Oktober 1998
Einsatz: Werksverkehr
Status: 340 Betriebsstunden
Bemerkungen: Diverse Elektronikprobleme durch 24V-Spannungsversorgung
Maßnahmen: 24/12V - Spannungswandler

Feldversuch Kommunalfahrzeug DaimlerChrysler ATEGO 1217

Prototyp 3:

Einbau: August 1999
Einsatz: Versuchsfahrzeug
Status: 40 Betriebsstunden
Bemerkungen: Leistungsgesteigerter Brenner,
24 V Ausführung ohne Spannungswandler