

## Berliner Praxistest „Partikelfilter auf Fahrgastschiffen“

Particulate filter on passenger ships – in practice



## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>3</b>
<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>Besondere Anforderungen für Rußfilter bei Fahrgastschiffen</b>	<b>4</b>
<b>Die Schiffe</b>	<b>4</b>
<b>Der eingebaute Motor</b>	<b>5</b>

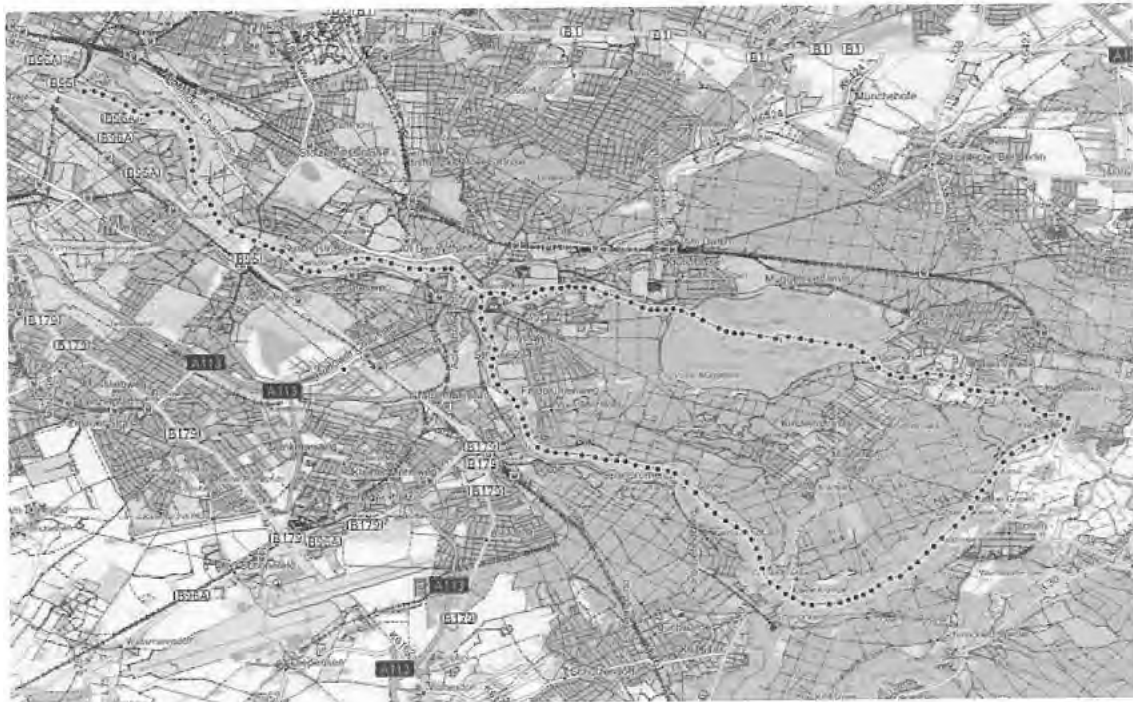


**5**

## Die Testroute

**5**

Anlage VII zu Technischem Bericht TÜH TB 2009 - 96.00



**5**

## Die Partikelfiltersysteme des Praxistests

**6**

hug **6**

HUSS **7**

Clemens **8**

Der Praxistest **9**

Zusammenfassung **11**

Empfehlung **11**

Danksagung **11**

## Kurzfassung

Die aktuelle Abgasnorm von Dieselmotoren für Schiffe hinkt in Bezug auf die Grenzwerte der Abgasemissionen, denen für Dieselmotoren für Straßenfahrzeuge um ca. 1-2 Dekaden hinterher.

Schiffsmotoren haben eine Lebensdauer von gut 30 Jahren und länger, deshalb erfolgt nur eine langwierige Durchdringung des Marktes mit neuen Motoren.

Die Fahrgastschiffahrt in der Berliner Innenstadt hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen, parallel häufen sich die Beschwerden von Anwohnern und Spaziergängern an den Gewässern über Abgasgestank der Schiffe. Aufgrund der internationalen Rechtslage sind die Berliner Wasserstraßen kein Teil der Umweltzone.

Fahrgastschiffe auf Kanälen haben deutlich geringere Abgastemperaturen und schwefelhaltigeren Treibstoff als Lkw, deshalb ist Filtertechnik nicht direkt übertragbar.

Es folgte die Entwicklung der Rahmenbedingungen für Filter auf Fahrgastschiffen (Sicherheit, Temperaturen, Schwefelgehalt im Kraftstoff, Zulassungsbedingungen) und der Beschluss: Ein Pilotprojekt mit drei verschiedenen Filtersystemherstellern.

Einbau von zwei Filtern auf der Werft im Winter 2008 und des dritten Filters in der Winterpause 2009/10.

Es wurden drei Messreihen durchgeführt. Direkt nach Inbetriebnahme der Filter, nach einem Jahr Betrieb und die Abschlussmessung nach zwei Jahren.

Nach Verbesserung der Filtersysteme durch die Hersteller im Rahmen dieses Pilotprojektes ergab sich folgendes Bild.

Die Regeneration der beladenen Partikelfilter funktionierte zuverlässig und die Filtersysteme erzielten Rußabscheideraten von deutlich über 90 %.

Der Gesamtabgasgedruck wurde von den Filterherstellern teilweise unterschätzt, was zu häufiger automatischer Betätigung der Bypassklappe führte, die eigentlich nur bei Defekten öffnen sollte.

In der Serie sollte die Filterauslegung sehr sorgfältig auf Grund der hier gewonnenen Erfahrungen erfolgen, es müssten beispielsweise dann unbedingt Filter mit etwas geringerem Abgasgedruck eingesetzt werden.

## Einleitung

Ziel des Projektes:

Das Projekt verfolgt das Ziel, die Nachrüstung von Berliner Fahrgastschiffen mit Partikelfiltern zu fördern und damit die Wirkung und Dauerhaltbarkeit der geförderten Filtersysteme durch Messungen zu untersuchen.

Dafür sollen im Rahmen des Projektes folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- Wie steht es mit der Zuverlässigkeit von Partikelfiltern auf Fahrgastschiffen?
- Wie verhält es sich mit der Partikelreduktion über einen Zeitraum von zwei Jahren?
- Wie hoch sind die Investitionskosten?
- Sind die Betriebskosten der Filter betriebswirtschaftlich vertretbar?
- Welche Umstände können die Betriebssicherheit und die Partikelreduktion einschränken?

Als Ergebnis des Praxistests sollen aus den Erfahrungen erste Empfehlungen für die Nachrüstung von Fahrgastschiffen abgeleitet werden. Diese Empfehlungen sind eine notwendige Grundlage, damit sich der Berliner Senat für eine breitere Nachrüstung von Fahrgastschiffen einsetzen kann.

## Besondere Anforderungen für Rußfilter bei Fahrgastschiffen

Berliner Fahrgastschiffe werden mit Dieselmotoren mit einer Leistung zwischen etwa 50 und 300 kW betrieben. Die Motoren sind ähnlich den Motoren für schwere Nutzfahrzeuge oder stationäre Maschinen. Allerdings liegen die zulässigen Grenzwerte für Partikelemissionen auch für neue Schiffsmotoren um 10- bis 20 Jahre hinter denjenigen von schweren Nutzfahrzeugen zurück.

Bei der Auslegung der Partikelfilter für Schiffe sind besondere Betriebsbedingungen zu berücksichtigen:

1. Die Schiffsmotoren werden bei anderen Betriebszuständen betrieben als z.B. Motoren in Nutzfahrzeugen. Um den im Filter angesammelten Ruß auf umweltfreundliche Art loszuwerden, werden die Filter regelmäßig regeneriert. Für die in Fahrzeugen gängige passive Regeneration von Filtern mit katalytischer Beschichtung sind in der Regel Abgastemperaturen über 250 °C notwendig, die jedoch beim Schiff nur kurzzeitig erreicht werden.
2. Der auf Berliner Fahrgastschiffen verwendete Kraftstoff, sog. Gasöl, kann und darf mehr Schwefel enthalten als Dieselmotoren für den Straßenverkehr. Hohe Schwefelgehalte beeinflussen die Wirkung, Regeneration und die Dauerhaltbarkeit von Partikelfiltern.
3. Ein Abgasnachbehandlungssystem muss einen Bypass haben und darf nicht in die Motorelektrik eingreifen.

Für die Nachrüstung von Fahrgastschiffen sind deshalb Partikelfilter mit einer rein katalytischen Regeneration wegen der überwiegend zu niedrigen Abgastemperaturen sowie Systeme mit einer Verwendung von Additiven wegen des ungeklärten Wassergefährdungspotenzials weniger geeignet.

## Die Schiffe

Es wurden uns von einer Berliner Reederei drei weitgehend baugleiche Schwesterschiffe zur Verfügung gestellt, die Unterschiede sind in der Herstellung in Handarbeit begründet. Sie sind für 108 Fahrgäste ausgelegt und haben eine Wasserverdrängung von ca. 200 m<sup>3</sup>.



Abbildung 1: Die Fahrgastschiffe Friedrichshain, Pankow und Prenzlauer Berg

## Der eingebaute Motor

Ein M.A.N. mit 11,967 l Hubraum, 190 (272) kW und einem Abgasturbolader mit Ladeluftkühlung.

Die Motoren wurden im Rahmen der Remotorisierung am Anfang des Jahrzehnts installiert. Sie werden mit Dieselkraftstoff mit 50 ppm bzw. 0,005 % Schwefel betrieben.



Abbildung 2:

## Die Testroute

Die Fahrroute der Messfahrten bestand aus einem Rundkurs (Abbildung 3) mit Simulation aller möglichen Lastzustände

- Schleusenausfahrt
- Quasileerlaufgeschwindigkeit-Kanalfahrt
- Not-Abstoppen
- Volllast

Diese Fahrbedingungen sind dem Umstand geschuldet, dass die nachgerüsteten Schiffe keine Betriebseinschränkungen haben dürfen, d.h sowohl im Linienverkehr der Berliner Innenstadt mit sehr restriktiver Geschwindigkeitsbeschränkung verkehren können, als auch im Charterverkehr, der teilweise ins Berliner Umland führt.

Des Weiteren sollten die Schiffe mit dem Filter an andere Reedereien mit anderen Betriebsbedingungen veräußerbar sein.

Anlage VII zu Technischem Bericht TÜH TB 2009 - 98.00



Abbildung 3:

## Die Partikelfiltersysteme des Praxistests

Es kommen drei geschlossene, aktiv regenerierende Filtersysteme mit ganz unterschiedlichen Regenerationsstrategien zum Einsatz.

Da der Schiffsantrieb auch zur Lenkung benötigt wird, ist eine Forderung für die Zulassung der Filtersysteme, dass durch das System der Antrieb nicht beeinträchtigt werden kann.

Deshalb haben alle Systeme einen **Sicherheitsbypass**.

Sie sollten inklusive Schalldämpfer nur einen maximalen Abgasgedruck von 80 mbar erzeugen.

### [hug](#)

Das neu entwickelte System der Firma hug (Abbildung 4) wird mit einem verkleinerten Dieselmotor regeneriert, der in Abhängigkeit der gesammelten Rußmenge nach etwa 2 Betriebsstunden den mit Ruß beladenen Filter in 20 Minuten bei Leerlaufdrehzahl frei brennt.

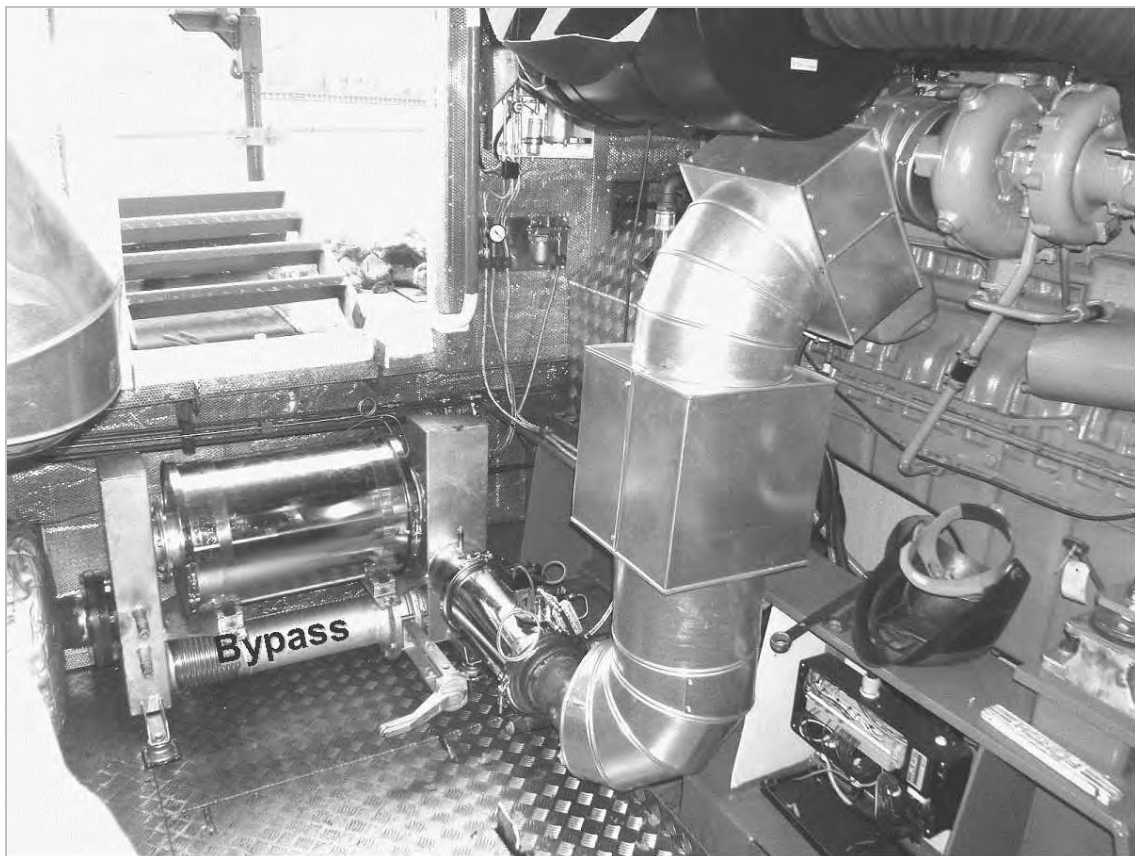


Abbildung 4: System hug mit Leerlaufbrenner

## HUSS

Das ähnliche konzipierte System der Firma HUSS (Abbildung 5): Es wird bei Bedarf Diesel in den Abgasstrom eingedampft. Dieser Diesel trifft auf einem dem Filter vorgeschalteten Oxidationskatalysator und wird dort in thermische Energie umgewandelt. Diese Wärme wird zur Regeneration des nachgeschalteten Partikelfilters genutzt. Das System arbeitet permanent während der Fahrt.



Abbildung 5:

## Clemens

Einen völlig anderen technischen Ansatz verfolgt hingegen das Filtersystem der Firma Clemens (Abbildung 6), es verbrennt den angesammelten Ruß mit einer elektrischen Heizung während der nächtlichen Liegezeit, es entstehen keine zusätzlichen  $\text{NO}_x$ -Emissionen. Das Filtersystem ist für besonders niedrige Abgastemperaturen geeignet. Dieses Filtersystem hat die größte wärmeabstrahlende Oberfläche des Testes.

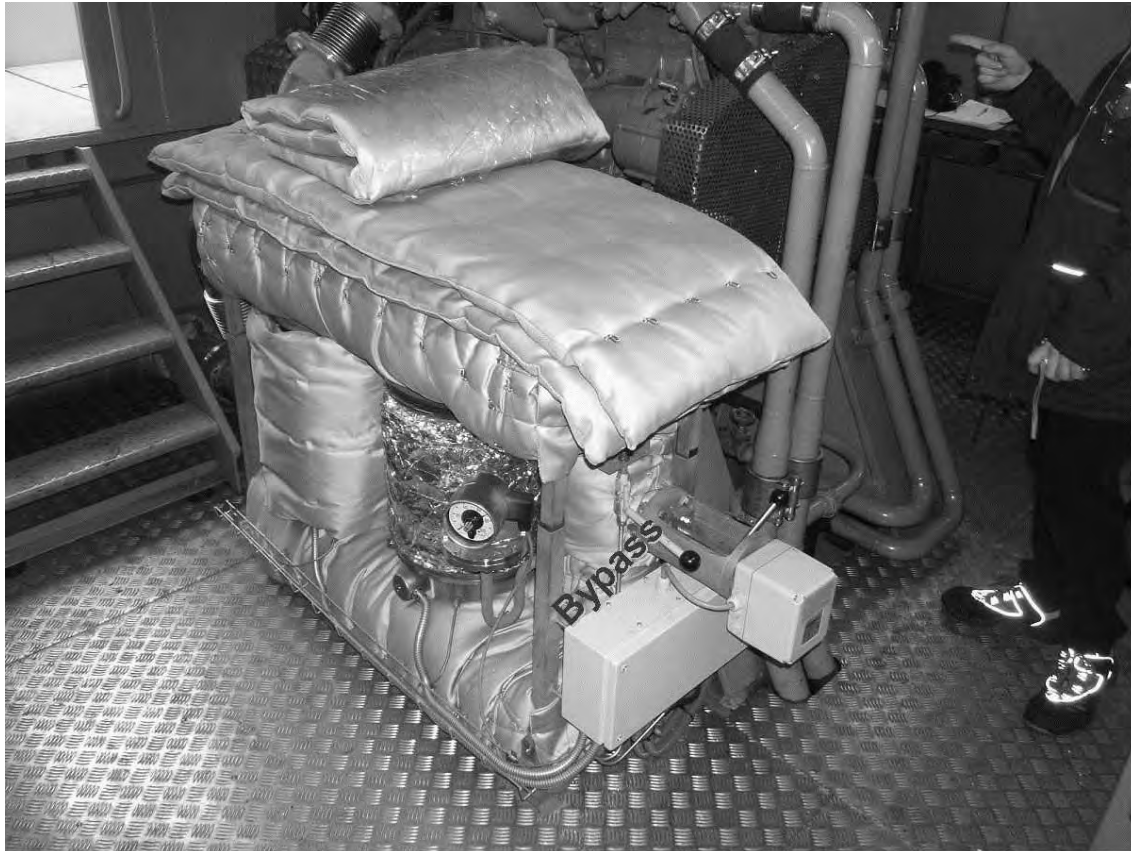


Abbildung 6:



## Der Praxistest

Es sollten im Rahmen des Projektes diverse Fragestellungen geklärt werden.

Kann die Zuverlässigkeit von Partikelfiltern auf Fahrgastschiffen gewährleistet werden oder wird die Betriebssicherheit eingeschränkt?

Wie verhält es sich mit der Partikelreduktion über einen Zeitraum von zwei Jahren?

Wie hoch sind die Investitionskosten?

Sind die Betriebskosten der Filter betriebswirtschaftlich vertretbar?

Welche Umstände können die Betriebssicherheit und die Partikelreduktion einschränken?

Es wurden drei Messreihen über jeweils vier Stunden durchgeführt. Direkt nach Inbetriebnahme der Filter, nach einem Jahr Betrieb und die Abschlussmessung nach zwei Jahren.

Kontinuierlich abgegriffen wurden dabei die Parameter Abgasgegendruck, Abgastemperatur vor und hinter Filter, Fahrgeschwindigkeit, Motordrehzahl, Opazität, Umgebungsluftdruck und Umgebungstemperatur.

Um eine Aussage über den Abscheidegrad zu treffen, wurden zusätzlich gravimetrische Messungen vorgenommen.

Der installierte Motor ist für den Betrieb in Schiffen nur mit einem maximalen Abgasgegendruck von 80 mbar zugelassen.

Der Messaufbau, in Abb. 7 beispielhaft dargestellt, diente insbesondere der Überprüfung der Einhaltung des zulässigen Abgasgegendrucks und der Untersuchung der dauerhaften Filterleistung der Systeme.

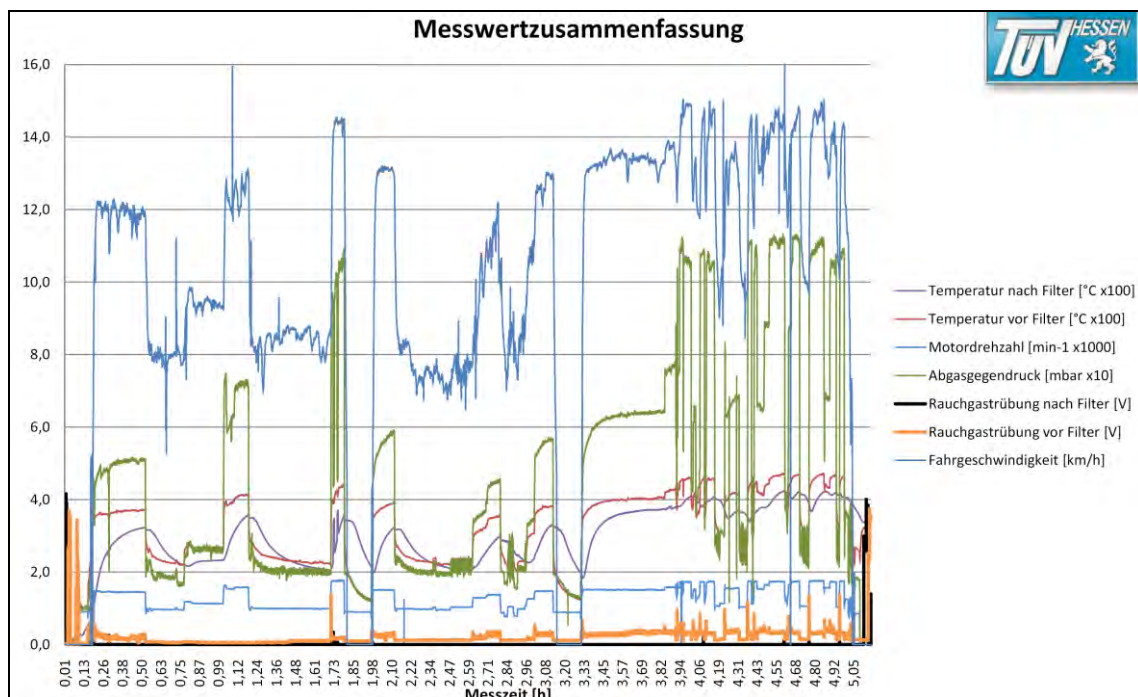


Abbildung 7: alle Messreihen

Anhand der Messwerte konnte die Funktion der Filtersysteme sehr gut während der Testroute überwacht werden. Die Auswertung der gravimetrischen Messung ergab Abscheideraten von über 90%.

Durch Nacharbeiten der Hersteller hug und Clemens konnten die anfänglich aufgetretenen Schwierigkeiten beseitigt werden.

Der Hersteller HUSS, welcher erst ein Jahr später sein System installieren konnte, war bei dem Abschluss auf dem gleichen Stand wie die Firmen hug und Clemens nach einem Jahr. Deshalb wird HUSS (vorerst) aus der Wertung herausgenommen und sein System soll nochmals Ende 2011 überprüft werden.

Jeder Partikelfilter konnte über den Versuchszeitraum zuverlässig regeneriert werden, wobei bei dem Filtersystem hug unbedingt ununterbrochen die 20 Minuten mit Leerlaufdrehzahl einzuhalten sind.

Wenn die Fahrgastschiffe zwischenzeitlich bei Charterfahrten außerhalb der Kanäle länger höhere Geschwindigkeiten fahren, kam es zu autogenen Regenerationen und es wurde dann keine „Regenerationsenergie“ benötigt. Dies führte zu Kosteneinsparungen, wobei aufgrund der azyklischen Betriebsweise genaue Werte nicht eruiert waren.

Der Gesamtabgasgegendruck wurde von den Filterherstellern teilweise unterschätzt, was zu häufiger automatischer Betätigung der Bypassklappe führte, die eigentlich nur bei Defekten öffnen sollte.

Das Modell Clemens hat durch den Aufbau mit zwei nebeneinander stehenden Filterpatronen eine große Oberfläche, dadurch erzeugt dieses System eine größere Wärmeabstrahlung in den Maschinenraum als die beiden anderen Filter. Es wurde eine zusätzliche Isolierungsschicht angebracht, um die Temperaturerhöhung zu verringern.

## Zusammenfassung

- Keine Probleme mit der Regeneration der Filter
- die Filter lieferten stabile, drehzahlabhängige Trübungs- und Druckwerte
- Rußabscheidegrad der Systeme (Filter + Bypass) >90 %, auch nach zwei Betriebsjahren war keine Verschlechterung erkennbar.
- ein Mehrverbrauch durch die Filter konnte bisher nicht festgestellt werden, Grund ist geringer Gegendruck im Normalbetrieb
- längere Abstände der aktiven Regeneration wären aufgrund der bisherigen Erfahrungen möglich
- Nach 1200 bzw. 1500 Betriebsstunden anscheinend keine nennenswerten Ascheeinlagerungen, weil kein Anstieg des Gegendruck-Grundlevels ! Nach weiteren 1500 Betriebsstunden teilweise Ascheeinlagerungen
- Problem: Aufgrund zu klein dimensionierter Filter von hug sowie HUSS öffnen der Bypassklappe bei den höchsten Drehzahlen.  
Dies führte zu überproportionalem Verschleiß an einer Bypassklappe.  
Lösung: In der Serie müssten dann unbedingt Filter mit etwas geringerem Abgasgegendruck eingesetzt werden, damit die Klappe nur bei Defekten öffnet. Die Firma HUSS hat inzwischen den vorhandenen Partikelfilter durch einen größeren ersetzt

## Empfehlung

Die Grundlage für in Schiffen zugelassene partikelfilter sind die Einhaltung der Zusatzbestimmungen für Abgasnachbehandlungssysteme (ANS), dies sind insbesondere der maximal zulässige Abgasgegendruck mit einer Absicherung über einen Bypass und der Nachweis, dass sich die Abgaswerte durch das Abgasnachbehandlungssystem nicht verschlechtern.

- lückenlose Aufzeichnung und Aufbewahrung der geforderten Parameter über drei Jahre
- Messstutzen mit ½ Zoll vor und hinter dem Filtersystem für die sechsjährige Überprüfung, wegen der EU-Förderbedingungen
- eine grüne Kontrollleuchte für die Betriebsbereitschaft und eine rote Meldeleuchte für Störungen
- regelmäßige kurze Betätigung der Bypassklappe (einmal pro Betriebstag/ Woche/ Monat) um deren Betriebssicherheit zu erhöhen
- die generelle Eignung des Filtersystems ist über vorherige Serienfertigung oder Referenzen zu belegen
- Sicherung gegen zu viel Treibstoffzufuhr zur Regeneration

Durch den Praxistest hat sich gezeigt, dass besonderes Augenmerk auf den Gesamtabgasgegendruck zu legen ist und die Bypassklappensteuerung dauerdruckstabil auszulegen ist.

Auch die Wärmeabstrahlung ist unbedingt auf Minimalniveau zu bringen, weil dadurch der Maschinenraum geringer aufgeheizt wird und zusätzlich Regenerationsenergie eingespart werden kann.

## Danksagung

Ich danke dem TÜV Hessen für die engagierte Durchführung der Messkampagnen und besonders der Stern und Kreisschiffahrt GmbH für die Bereitstellung von drei baugleichen Schiffen.

Erst durch diese Bereitstellung waren derartige Filtergleiche möglich.

Auch nicht zu vergessen ist die freundliche Aufnahme durch die Schiffsbesatzungen und die technische Leitung der Reederei.

**Herausgeber (Impressum Überschrift)**

Senatsverwaltung für Gesundheit,  
Umwelt und Verbraucherschutz –  
Öffentlichkeitsarbeit  
Brückenstraße 6  
10179 Berlin

Fotos: SenGesUmV, Volker Schlickum

