

MAHLE

Hocheffizientes Ölabscheidesystem Highly Effective Oil Mist Separator



Dipl.-Ing. Hartmut Sauter, Dipl.-Ing. Kay Brodesser,
Professor Dr.-Ing. Dieter Brüggemann

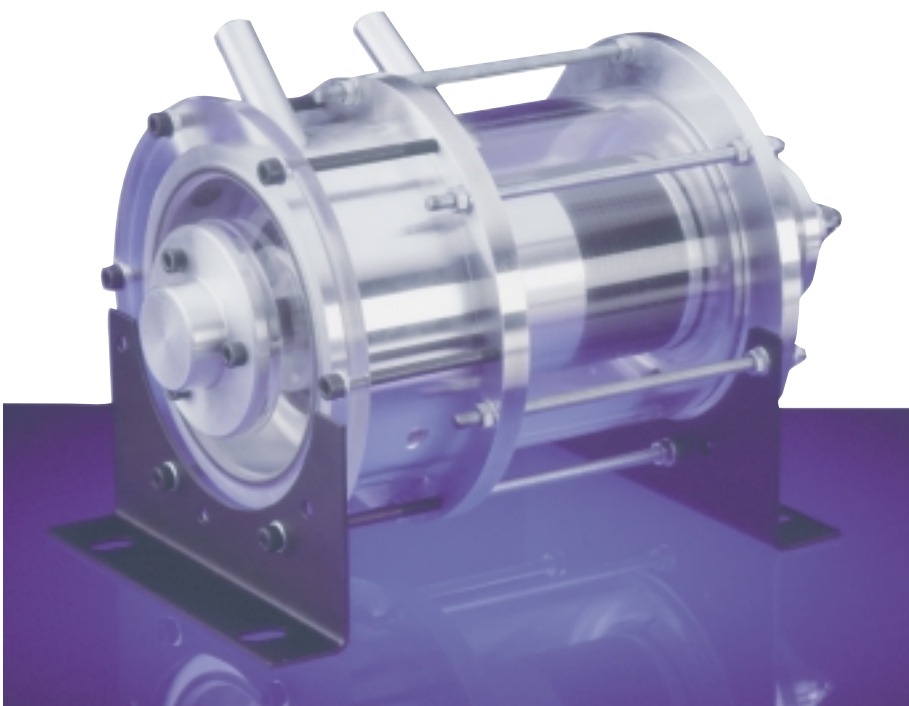
Sonderdruck aus
Special Print from

MTZ
MOTORTECHNISCHE ZEITSCHRIFT

Ausgabe 3/2003

Hocheffizientes Ölabscheidensystem für die Kurbelgehäuseentlüftung

Die auf dem Markt etablierten Lebensdauer-Motorölabscheider für die Kurbelgehäuseentlüftung wie beispielsweise Zyklonabscheider sind nicht in der Lage, Partikel mit Größen kleiner als ein Mikrometer effizient zurückzuhalten. Um künftige Anforderungen an die Abscheidung von Öltröpfen aus der Kurbelgehäuseentlüftung erfüllen zu können, müssen daher neue Technologien eingeführt werden. Eine Entwicklung der Mahle Filtersysteme GmbH wird dazu vorgestellt.



1 Einleitung

Das Arbeitsprinzip von Hubkolbenmaschinen bewirkt eine Leckageströmung vorbei am Kolben ins Kurbelgehäuse, die als Blow-by-Gas bezeichnet wird. Bei offenen Entlüftungssystemen gelangt das Blow-by-Gas über ein Entlüftungrohr in die Umgebung. Ein unerwünscht hoher Überdruck kann so im Kurbelgehäuse vermieden werden.

Bei geschlossenen Systemen, wie sie in Personenkraftwagen vorgeschrieben sind, wird das Blow-by-Gas in den Ansaugtrakt geleitet. Dabei werden Ölnebelabscheider eingesetzt, um vorhandene Ölbestandteile aus der Strömung zu separieren. Die abzuschneidende Flüssigkeit besteht zum einen aus Tropfen mit Partikelgrößen im Durchmesserbereich um $d_{50,3} = 1 \mu\text{m}$ und zum anderen aus einem Wandfilm, der einen bedeutenden Massenanteil einnehmen kann. Die aufgefangene Flüssigkeit wird dem Ölkreislauf wieder zugeführt. Um durch das Absaugen des Blow-by-Gases in den Ansaugstrang den Druck im Kurbelgehäuse gegenüber der Umgebung nicht zu weit abzusenken, werden häufig Ventile zur Druckbegrenzung zwischen dem Ölnebelabscheider und der Einleitstelle der Blow-by-Gase in den Ansaugtrakt eingesetzt. **Bild 1** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Systems zur Kurbelgehäuseentlüftung für einen Dieselmotor mit Aufladung und ohne Drosselklappe.

Vielmehr geben gesetzliche Reglementierungen wichtige Impulse für Neuentwicklungen im Motorenbau. Derzeit werden geschlossene Systeme zur Kurbelgehäuseentlüftung bei Nutzfahrzeuganwendungen nur teilweise eingesetzt. Ab dem Jahr 2007, mit den wirksam werden den neuen Abgasgesetzstufen [1], ist auch

1 Einleitung

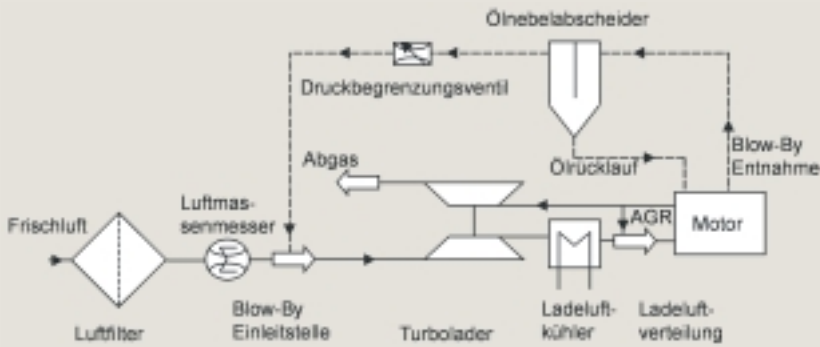


Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines Systems zur Kurbelgehäuseentlüftung für einen Dieselmotor

Figure 1: Schematic of a crankcase ventilation system for a diesel engine

bei Dieselmotoren für den Nutzfahrzeugbereich mit einer generellen Umstellung auf geschlossene Systeme zu rechnen. Die im Vergleich mit Pkw-Motoren deutlich höheren Laufleistungen verstärken Probleme wie eine unzureichende Abscheideleistung, von denen alle stromabwärts der Blow-by-Gas-Einleitstelle liegenden Bauteile betroffen sind:

- Turbolader: Die Anforderung an den Rundlauf bei Abgasturboladern sind sehr hoch, weil sie Drehzahlen bis weit über 100.000/min aufweisen. Schon kleinste Ölablagerungen an den Schaufeln können daher zu Problemen führen.

- Ladeluftkühler: Begünstigt durch die niedrige Oberflächenspannung von Öl kann sich Ölnebel im Ansaugtrakt an Bauteilwänden niederschlagen [2]. Leichtflüchtige Bestandteile können bei Temperaturen oberhalb von 150 °C verdunsten, und es bilden sich fest haftende Ablagerungen. Die Wärmetauscherflächen werden dadurch mit einer gut isolierenden Schicht überzogen, so dass sich der Wärmeübergang wesentlich verschlechtert. Durch die dann wärmere Ansaugluft verringert sich der Liefergrad, was direkt die Leistung des Motors reduziert.

- Einlassventile: Neue Dieselmotorgenerationen stellen hohe Anforderungen an Ausführung und Dauerfestigkeit der Einlassventile. Ablagerungen im Bereich der Einlassventile können vom Leistungsverlust über den Kraftstoffmehrerbrauch bis hin zu Fahrstörungen führen. Untersuchungen von McGeehan et al. [3] unterstreichen die schädlichen Auswirkungen des mit feinen Ölparkeln beladenen Blow-by-Gases auf die Einlassventile. Die feinen Partikel aus Abgasrückführungssystemen vergrößern die auftretenden Probleme.

Daraus ergeben sich – verschärft durch steigende Lebensdauerforderungen – höchste Anforderungen an die Qualität der zukünftigen Ölabscheidung. Im Folgenden wird daher die Entwicklung eines hocheffizienten Abscheidesystems vorgestellt.

2 Funktionsprinzip

Die den Absetzzentrifugen zugerechneten Tellerseparatoren werden in vielen industriellen Anwendungsbereichen eingesetzt. Die bekanntesten Einsatzgebiete sind das Trennen von Emulsionen und das Klären von Suspensionen. Zur Reinigung von tropfenbeladenen Gasströmen mit Hilfe von Tellerseparatoren sind in der Literatur

nur wenige Hinweise zu finden [4]. Tellerseparatoren bestehen aus mehreren, durch dünne Spalte getrennte hohlkegelförmige Teller, **Bild 2**. Zwischen den Tellern können sich verschiedene Arten von Einbauten befinden, die einerseits einen definierten Abstand sicherstellen und andererseits das Strömungsfeld beeinflussen.

Das Detail in Bild 2 zeigt das Abscheideprinzip am Beispiel eines Tellerspalt. Die Strömung im Tellerspalt ist bedingt durch die geringen Abstände weitgehend laminar. Das zu reinigende Fluid strömt von einem geschlossenen äußeren Ringraum aus und verteilt sich dann entsprechend dem Druckverlust auf die Tellerspalt. Das Medium mit der spezifisch höheren Dichte wird durch die Zentrifugalbeschleunigung zu größeren Radien bewegt und prallt daher an die Unterseite des darüber angeordneten Tellers. Dort bildet sich ein Wandfilm aus, der infolge der Drehbewegung zum Außenrand der Teller gefördert und dort abgeschleudert wird. Die abgeschleuderte Flüssigkeit bildet Tropfen, die gegenüber der Ausgangsgröße deutlich größer sind und daher nicht mehr durch die Gasströmung mitgerissen werden. Die ablaufenden Vorgänge werden überwiegend durch die eingezeichnete Widerstandskraft F_W und die Fliehkraft F_Z beeinflusst.

Neben einer Durchströmung von außen nach innen, die deutlich Vorteile hinsichtlich der Partikelabscheidung aufweist, kann die Strömungsrichtung auch von innen nach außen verlaufen, was Vorteile bezüglich der sich ergebenden Druck-

2 Funktionsprinzip

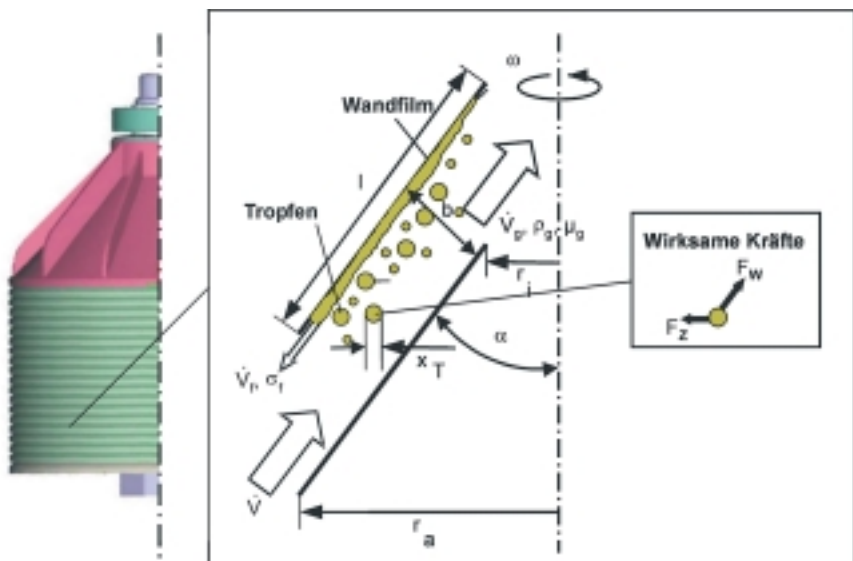


Bild 2: Abscheideprinzip mit Detaildarstellung

Figure 2: Separation principle with detail scheme

verluste ergibt. Voraussetzung für eine zielgerichtete Auslegung des Abscheideverhaltens ist die genaue Kenntnis der Strömungsverhältnisse im Bauteil. Dabei gilt es, eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen. Außer geometrischen Größen gehen das Strömungsfeld und die Eigenschaften der Fluide ein. Numerische Simulationsrechnungen, bei denen die Geometrie, der Volumenstrom und die Drehzahl systematisch verändert werden, stellen in diesem Zusammenhang eine einfache und sehr effiziente Möglichkeit dar, um die sich gegenseitig beeinflussenden Parameter zu optimieren.

3 Antriebskonzepte

Das Antriebskonzept spielt bei rotierenden Bauteilen eine entscheidende Rolle. Es kommen elektrische, hydraulische, pneumatische oder auch mechanische Konzepte in Frage. Welche der Möglichkeiten

3 Antriebskonzepte

Tabelle: Wahl des Antriebskonzepts
Table: Possible drive sources

Antriebskonzepte/Kriterium	Elektrisch	Hydraulisch	Pneumatisch	Mechanisch
Verfügbarkeit	++	0	-	-
Leistungsaufnahme/ Wirkungsgrad	+	0	0	+
Regel- bzw. Steuermöglichkeit	++	-	-	--
Adaptionsmöglichkeit	+	0	0	-
Gewicht	-	0	+	+
Geräuschentwicklung	+	0	0	+
Kosten	0	+	+	0

umgesetzt wird, hängt neben dem Anbauort von einer Reihe weiterer Kriterien ab. Die **Tabelle** zeigt eine Einschätzung bezüglich der wichtigsten Auslegungspunkte, welche die Wahl des Antriebskon-

zepts beeinflussen können. Bei dem zugrunde liegenden Szenario sind insbesondere künftige Anforderungen wie etwa die Regelungs- beziehungsweise Steuerungsmöglichkeiten oder die OBD-Möglichkeit (On-Board-Diagnose) berücksichtigt. Daneben wurde angenommen, dass die erforderlichen Anschlussmöglichkeiten nicht bereits vorhanden, sondern jeweils zu erstellen sind. Entsprechend der Peripherie kann sich die Wertung daher verschieben. Übereinstimmend mit der Tabelle liegt der Entwicklungsschwerpunkt auf elektrischen Antrieben.

4 Funktionsnachweis am Motor

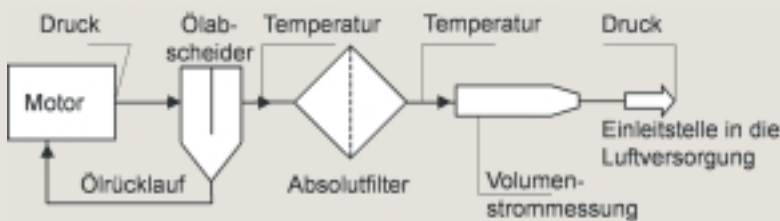


Bild 3: Messaufbau zur Bestimmung der emittierten Ölmenge an einem Motor
Figure 3: Experimental set-up for the emitted oil mass at the engine

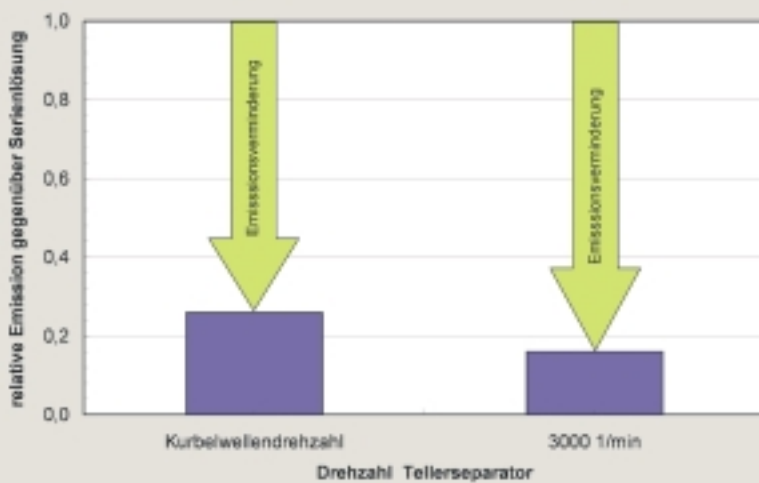


Bild 4: Gemessene Emissionsminderung unterhalb des Abscheiders
Figure 4: Measured reduction of the oil emissions downstream the separator

4 Funktionsnachweis am Motor

Motordrehzahl und Motorlast bestimmen die sich einstellenden Blow-by-Gas-Volumenströme, die zum Abscheider gelangende Ölmenge und die für die Abscheidung relevante Tropfengröße. Die genannten Größen unterscheiden sich in Abhängigkeit vom Betriebspunkt um bis zu eine Zehnerpotenz. Exemplarisch dafür kann der Blow-by-Gas-Volumenstrom herangezogen werden, der bei aktuellen Nutzfahrzeugmotoren mit 12 l Motorölvolumen in Bereichen von zirka 40 l/min bei Leerlauf und Bereichen von deutlich oberhalb 200 l/min bei Volllast und Bremsbetrieb liegt.

Ein für die erweiterten Aufgabenstellungen geeigneter Ölabscheider muss diesen großen Einsatzbereich abdecken. Idealerweise liegt das Optimum der Abscheidung auf Betriebspunkten, die im realen Fahrbetrieb häufig vorkommen. Zur Überprüfung der Funktion wurden nach Strömungsberechnungen und Experimenten mit einem Prototyp Messungen bei unterschiedlichen Betriebspunkten am Motorprüfstand durchgeführt. Als einfaches Maß für die Funktion eines Abscheiders wird nachfolgend die Massenzunahme

eines Absolutfilters pro Zeiteinheit verwendet, **Bild 3**. Detailliertere Ausführungen zum entsprechenden Messaufbau können aus [5, 6] entnommen werden.

Es wurden Messungen an verschiedenen Nutzfahrzeugmotoren durchgeführt, wobei nachfolgend ein Ergebnis beispielhaft dargestellt ist. Im Vergleich mit einem in Serie befindlichen Ölabscheider sind Untersuchungen mit einem elektrisch angetriebenen Funktionsprototyp eines Tellerseparators durchgeführt worden. Die Drehzahl des Tellerseparators kann so unabhängig von der Drehzahl des Verbrennungsmotors eingestellt und in einfacher Weise variiert werden. **Bild 4** zeigt die anfallenden Restemissionen bei zwei unterschiedlichen Zentrifugendrehzahlen im Vergleich mit der derzeitigen Serienlösung für einen Lastpunkt, der einer Autobahnfahrt mit 80 km/h entspricht. Bereits bei Verwendung der Kurbelwellendrehzahl kann die Restemission, das heißt die Ölmasse pro Zeiteinheit im Absolutfilter, drastisch reduziert werden.

Die in **Bild 4** verwendeten 3000/min entsprechen ungefähr einer Verdoppelung der Kurbelwellendrehzahl. Es zeigt sich, dass durch eine Erhöhung der Zentrifugendrehzahl die Abscheideleistung signifikant verbessert werden kann. Die Leistungsaufnahme einer Zentrifuge ist in erster Näherung linear von der eingestellten Drehzahl abhängig. Ein zentrales Augenmerk im Rahmen der Entwicklung liegt daher auf der Leistungsminimierung. Durch Untersuchungen zu Lagerungs- und Dichtkonzepten sowie detaillierte Analysen des Abscheidvorgangs im Zentrifugalfeld ist es gelungen, die gegenläufigen Entwicklungsziele Leistungsminimierung und Abscheidemaximierung weitestgehend zu erreichen. Insbesondere die einfachen Regel- beziehungsweise Steuermöglichkeiten elektrischer Antriebe ermöglichen dabei ein gezieltes Optimieren an die zu erfüllenden Anforderungen.

Aus dem Ergebnis verschiedener Betriebspunkte kann auf den gesamten Fahrbetrieb geschlossen werden. Notwendig dazu sind eine Vielzahl von Messungen in Betriebspunkten mit unterschiedlichen Drehzahlen und Lasten sowie ein Fahrprofil, das heißt eine Häufigkeitsverteilung von Drehzahl und Lastdrehmoment. Damit kann einerseits eine entsprechende Gewichtung der Betriebspunkte durchgeführt, und andererseits können Auswirkungen von Beschleunigungsvorgängen abgeschätzt werden. Wie aus [7] entnommen werden kann, ist mit dem Tellerseparator bei Verwendung der Kurbelwellendrehzahl, gemittelt über unterschiedliche Drehzahlen, eine Reduzierung der

Ölmenge nach Ölabscheider um mehr als 50 % gegenüber derzeit verwendeten Bauteilen erzielbar.

5 Zusammenfassung

Ein Vergleich zeigt, dass mit elektrisch angetriebenen Tellerseparatoren die Restemission von Motoröl bei Systemen zur Kurbelgehäuseentlüftung drastisch reduziert werden kann. Die Tatsache, dass mit einer festen Auslegung konstruktiver Parameter immer nur ein Kompromiss für den gesamten Betriebsbereich eines Motors erzielt werden kann, bewirkt einen zunehmenden Einsatz von Technologien, mit denen eine betriebspunktabhängige Gestaltung und Optimierung ermöglicht wird. Dem stehen zumeist höhere Anschaffungskosten und ein gesteigerter Adaptionsaufwand gegenüber.

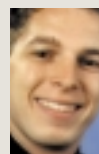
Die hier vorgestellte Entwicklung eines elektrisch angetriebenen Tellerseparators weist diese Merkmale auf. Durch die Hinterlegung eines einfachen Steuerfeldes ist ein energieeffizienter Einsatz des beschriebenen rotierenden Abscheiders möglich. Gegebenenfalls vorhandene Mindestschmieranforderungen und gezieltes Nachlaufen des Bauteils, damit ein Tropfentransport aus dem Kurbelgehäuse nach Abstellen des Motors in den Ansaugstrang verhindert wird, können darüber hinaus einfach adaptiert werden. Mit der Erhöhung der Kurbelwellendrehzahl steigt sowohl der Blow-by-Gas-Volumenstrom als auch die Ölmenge an. Bei Verwendung der Kurbelwellendrehzahl als Antriebsdrehzahl des Tellerseparators nimmt aber auch das Abscheidvermögen bei einer Erhöhung der Motordrehzahl zu. Die Fähigkeiten und Anforderungen gleichen sich daher über weite Bereiche aus. Höhere Drehzahlen bewirken eine weitere Verbesserung oder können zu einer Verkleinerung des Abscheiders führen, bedeuten aber auch ein Mehr an Leistungsaufnahme.

Durch seinen modularen Aufbau und die vielen geometrischen Variationsmöglichkeiten kann ein Tellerseparator gut an verschiedene Bauräume angepasst werden. Das vorgestellte Abscheidkonzept ermöglicht ein deutliches Einsparungspotenzial von Öl über die Fahrzeuglebensdauer von Nutzfahrzeugen im Bereich von ungefähr 30 l, weiterhin wird die Bauteilverschmutzung deutlich vermindert. Da mit der vorgestellten Entwicklung Partikel im Bereich von 1 µm effizient abgeschieden werden können, stellt sie auch bei anderen Anwendungsfällen der Tropfen- oder Partikelabscheidung eine interessante Alternative dar.

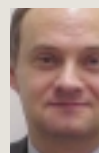
Literaturhinweise

- [1] Schulte, L.-E.: Partikelemission aus Verbrennungsmotoren. Derzeitige Limitierung, Ausblick und Zukunft. Forum Partikel-Emission, Nürnberg, 2002
- [2] Takeo, M.: Disperse Systems. Weinheim / New York: Wiley-VCH, 1999
- [3] McGeehan, J. A.; Yamaguchi, E. S.: Gasoline Engine Camshaft Wear: The Culprit is Blow-by. SAE 892112, USA, 1989
- [4] Abendschein, M.: Konzepte zur Abscheidung von Öltröpfchen aus der Kurbelgehäuseentlüftung. Universität Stuttgart, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik, April 2000
- [5] Sauter, H.; Trautmann, P.: Messung und Abscheidung von Ölnebelerosolen aus der Kurbelgehäuseentlüftung von Verbrennungsmotoren. In: MTZ 61 (2000), Nr. 12
- [6] Sauter, H.; Conze, M.: Fired and Non-Fired Engine: A Comparative Study of Crankcase Emission on Dynamometer Test Rigs. In: Auto Technology 1 (2001), No. 6, December
- [7] Sauter, H.; Lenz, T.; Zink, A.: A New Effective and Lifetime Oil Mist Separator for Crankcase Ventilation Systems. European Conference on Filtration and Separation, Gothenburg, 24-26 June 2002

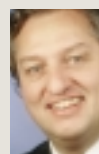
Die Autoren



Dipl.-Ing. Hartmut Sauter ist Projektleiter in der Vorentwicklung der Mahle Filtersysteme GmbH in Stuttgart.



Dipl.-Ing. Kay Brodessaer ist Bereichsleiter Versuch/ Vorentwicklung der Mahle Filtersysteme GmbH in Stuttgart.



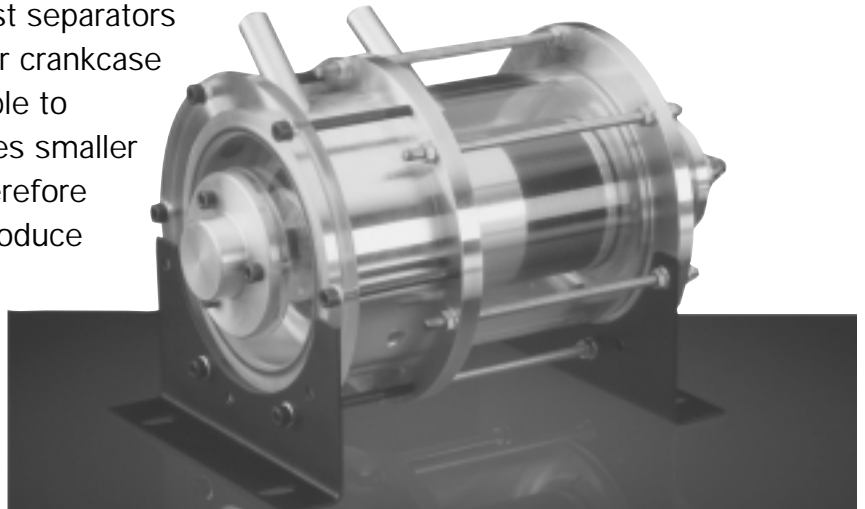
Professor Dr.-Ing. Dieter Brüggemann leitet den Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT) an der Universität Bayreuth sowie das angegliederte Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Thermodynamik, Energie- und Verbrennungstechnik (ATEV).

By Hartmut Sauter, Kay Brodesser and Dieter Brüggemann

Highly Effective Oil Mist Separator

for Crankcase Ventilation

Current lifetime engine oil mist separators such as cyclone separators for crankcase ventilation systems are not able to effectively separate oil particles smaller than one micrometre. It is therefore necessary to develop and introduce new technologies for the future. A development by Mahle Filtersysteme GmbH for separating oil mist is described in detail in the following.



1 Introduction

A principle characteristic of reciprocating engines is the blow-by gas that originates from leakage between the piston and the cylinder wall. In the past, the blow-by gas was released into the environment to prevent the build-up of high pressure in the crankcase.

Nowadays, closed crankcase ventilation systems are prescribed for passenger car applications. The blow-by gas is drained from the crankcase into the air intake system. Droplets of $d_{50,3} = 1 \mu\text{m}$ as well as liquid wall films occur in the pipes. This is the reason for using an oil separator. The intention is to retain the liquid parts of the oil and return them to the oil sump. Pressure regulation valves (PRV) between the blow-by port and the air intake are often used to ensure that the pressure in the crankcase does not get too low, especially in the case of high pressure drops in the air filters in diesel engines. **Figure 1** shows a diagram of a closed crankcase ventilation system for a supercharged diesel engine without a throttle valve.

Restrictions by law often encourage further development of engines. Today, only some of the trucks on the road have a closed crankcase ventilation system. Beginning in the year 2007, changes to closed

systems in all vehicles are expected [1]. Longer running times of trucks compared to passenger car engines intensify the problems caused by an insufficient separation efficiency of the oil separator. The parts downstream of the blow-by gas inlet in the intake manifold are especially affected:

- Turbocharger: The radial run-out requirements of turbochargers are very high due to their high rotational speeds of over 100,000 rpm. Even small deposits on the turbine blades can cause problems or damage.

- Intercooler: The low surface tension of oil encourages deposition. Low boiling components of the oil evaporate at temperatures of 150 °C and higher, leaving behind adherent compounds [2]. These cover the surface areas in the intercooler with an insulating layer that leads to a substantial decrease in the heat exchange efficiency. This is responsible for a higher air inlet temperature, which is equivalent to a reduction in engine power.

- Inlet valves: New diesel engines have high requirements regarding design and durability. Deposits in the area of the inlet valves can result in a loss of power, higher fuel consumption, higher emissions and, last but not least, problems concerning the driveability of the vehicle. McGeehan et al. [3] have confirmed the negative influence

of the oil particles from blow-by gas for the inlet valves. Small particles from the EGR system exacerbate these difficulties.

This, combined with longer lifetime demands, results in higher specifications for future oil separators. In the following development of a highly effective oil mist separator is described.

2 Operating Principle

Sedimentation centrifuges are used in a large number of industrial applications. Cone stack centrifuges belong to this group of separators. The best known applications for cone stack centrifuges are the separation of emulsions and the cleaning of suspensions. There are only a few recorded accounts of the cone stack principle being used for cleaning gas streams [4]. Cone stack centrifuges consist of several small rotating conical gaps, **Figure 2**. Between these, there can be different configurations to ensure the width of the gaps and to influence the flow field. Due to the small distance between the cones, the flow is laminar.

The detail shows the separation principle in one gap. In the first step, the blow-by gas flows radially inwards through the separator gaps and is distributed depending on the pressure loss. Liquid droplets settle and reach the lower surface of the upper cone

due to the different densities and the centrifugal forces. Assuming that the circumferential velocity of both the cones and the particles are equal, the relevant forces for the particle separation are the drag force F_W and the centrifugal force F_z . The second step of the separation process is an outward sliding motion of the liquid wall film at the upper cone formed at the cone end, caused by the centrifugal force. The film is catapulted and forms droplets that are much larger than those in the blow-by gas. As a result, these droplets are not transported further with the air flow.

This separation principle works for flows from the outer to the inner diameter and in the opposite direction. The former flow direction has advantages regarding the separation process, while the latter flow direction is favourable for the pressure drop. Detailed knowledge of the flow field in the centrifuge is the precondition for an effective design. A large number of parameters needs to be taken into consideration: geometrical dimensions, fluid properties, the volume flow of gas and liquid as well as the rotational speed. Numerical simulations allow detailed investigations to be made and show the influence of these parameters.

3 Drive Mechanism

The drive mechanism plays an important role in rotating parts. Depending on the application, electrical, hydraulic, pneumatic or mechanical mechanisms can be used. The choice depends on the package and position as well as on a number of additional aspects. The **Table** shows a summary of the designs, as well as a number of important and future considerations. Additionally it is also assumed that the required connections have to be developed. However, environmental influences could certainly affect the outcome and therefore these also need to be considered. According to the **Table**, one focus is on the development of an electrical drive for the cone stack separator.

4 Functional Verification as Part of an Engine

The engine speed and torque determine the blow-by volume flow as well as the amount of oil reaching the oil separator and the droplet size. The sizes strongly depend on the operating conditions and can vary by factors of up to 10. For example, the blow-by volume flow of a modern truck engine with an engine oil volume of 12 l is about 40 l/min at idle and clearly more than 200 l/min at maximum torque or when the engine brake is used. An oil separator

that meets these requirements has to suit all engine operating points. The best situation is when the system has its maximum separation efficiency near to the operating points that occur most frequently in real-life operation, for example during motorway driving. The functions of the oil separator described here have been checked in the laboratory and by measurements taken from engine test benches. The oil mass per time collected versus an absolute filter was used as a simple measure of the separation efficiency, **Figure 3**. More details of the measuring technique can be taken from [5, 6].

Measurements were made on different truck engines. In the following, one result is presented in detail as an example. Tests with an electrically driven prototype of a cone stack centrifuge were carried out in comparison with an actual oil separator in current series production. The electric drive meant that the rotational speed of the cone stack centrifuge was independent of the speed of the crankshaft or other shafts in the engine. It also made it very easy to vary the speed of the cone stack centrifuge. **Figure 4** shows a typical operating point: motorway driving at 80 km/h. The oil emissions measured over time for two different speeds of the cone stack are given. The first speed is equivalent to the crankshaft speed and the second is almost double the crankshaft speed. The oil emission can be drastically reduced compared to the current design.

The speed of 3000 rpm used in **Figure 4** is approximately equivalent to a doubling of the crankshaft speed. Further improvements can be achieved by increasing the speed of the cone stack. If we bear in mind that the necessary energy input increases linearly with the speed, it is clear that a compromise between energy input and separation efficiency has to be found. Investigations on the bearing and sealing concept and a detailed analysis of the separation process made it possible to achieve both a reduction in power and maximum separation. The possibilities offered by electric drives in particular allow the system to be optimised.

A number of measuring points with different torques and speeds are necessary for making a comparison between the common design of systems for oil separation in closed crankcase ventilation systems and the cone stack centrifuge. Additionally, a realistic driving profile in real-life operation is required in order to weight the measured points according to their frequency. As shown in [7], a reduction in oil emission of more than 50 % is possible using the crankshaft speed. This estimation origi-

nates from measured and weighted operating points.

5 Summary

Compared to existing closed crankcase ventilation systems, the total engine oil emission can be substantially reduced by using an electrically driven cone stack centrifuge. Nowadays, more and more components and technologies can be used to improve module characteristics and maximise functional performance. The development described in this article takes this context into account by implementing an energy-efficient driving strategy for the rotor. Further functions can be added and controlled by the engine management. For example, the centrifuge can be allowed to continue running for a short time when the engine is switched off. This will ensure that droplets are not transported to the intake manifold as a result of a large difference in droplet concentration between the crankcase and the intake manifold.

In view of current requirements and capabilities, the use of the crankshaft speed for the cone stack centrifuge can be beneficial for a wide range of engine operating conditions. Higher speeds result in an improvement in separation efficiency and in a smaller package. On the other hand, more power is required for the drive. Due to the modular concept, however, this principle can be easily adapted to different package requirements. A saving of 30 l of oil is possible over the total lifetime of a truck engine. Deposits downstream of the blow-by inlet in the intake manifold can be minimised. Since cone stack centrifuges are able to effectively separate droplets even as small as 1 μm , this technique is an interesting proposition for other applications, too.

References

- [1] Schulte, L.-E.: Partikelemission aus Verbrennungsmotoren. Derzeitige Limitierung, Ausblick und Zukunft. Forum Partikel-Emission, Nürnberg, 2002
- [2] Takeo, M.: Disperse Systems. Weinheim / New York: Wiley-VCH, 1999
- [3] McGeehan, J. A.; Yamaguchi, E. S.: Gasoline-Engine Camshaft Wear: The Culprit is Blow-by. SAE 892112, USA, 1989
- [4] Abendschein, M.: Konzepte zur Abscheidung von Öltröpfchen aus der Kurbelgehäuseentlüftung. Universität Stuttgart, Institut für Mechanische Verfahrenstechnik, April 2000
- [5] Sauter, H.; Trautmann, P.: Messung und Abscheidung von Ölnebelerosolen aus der Kurbelgehäuseentlüftung von Verbrennungsmotoren. In: MTZ 61 (2000), Nr. 12
- [6] Sauter, H.; Conze, M.: Fired and Non-Fired Engine: A Comparative Study of Crankcase Emission on Dynamometer Test Rigs. In: Auto Technology 1 (2001), No. 6, December
- [7] Sauter, H.; Lenz, T.; Zink, A.: A New Effective and Lifetime Oil Mist Separator for Crankcase Ventilation Systems. European Conference on Filtration and Separation, Gothenburg, 24–26 June 2002

MAHLE

MAHLE Filtersysteme GmbH
Pragstraße 54
D-70376 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711-50 63-0
Telefax +49 (0) 711-50 63-3 04
www.mahle.com