



Damit das Öl im Motor bleibt

Neue hochwirksame Systeme trennen Öltröpfen aus dem Blow-by-Gas ab und sichern die effiziente Funktion des Motors



Bei Benzin- und Dieselmotoren strömt bei jeder Zündung des Treibstoff-Luft-Gemischs ein kleiner Anteil der Gase als Leckagestrom aus dem Verbrennungsraum in das Kurbelgehäuse. Damit die Motoren optimal funktionieren, ist es erforderlich, diese sogenannten Blow-by-Gase abzuführen und darin enthaltene Motoröltröpfchen abzutrennen. Dadurch sinken Schadstoffemissionen sowie Ölverbrauch des Motors. Für moderne, höher verdichtende Motoren entwickelten Forscher neue, effektive Abscheidesysteme, mit denen die strengeren Emissionsgrenzwerte für Ölnebel unterschritten werden.

Downsizing ist die aktuelle Vorgabe für moderne Verbrennungsmotoren: kleinere, höher verdichtende Motoren holen aus weniger Hubraum hohe Leistungen heraus. In der Folge sind deutlich kleinere Ölpartikel aus dem Blow-by-Gas der Kurbelgehäuseentlüftung abzuscheiden. Im Fahrzeug können für die Kurbelgehäuseentlüftung je nach verfügbarem Bauraum passive Abscheidesysteme wie einfache Prallabscheider auch in Kombination mit bspw. Vliesstoffen für die Oberflächenvergrößerung der Prallwände oder Zyklone zum Einsatz kommen. Auch aktiv angetriebene Abscheider wie Tellerseparatoren werden schon im Nutzfahrzeugbereich eingesetzt. Die Herausforderung für die Entwickler bestand darin, speziell auch bei sehr feinen Öltröpfen Abscheidesysteme mit einer besseren Abscheideleistung als die der einfach aufgebauten passiven Systeme zu konzipieren. Außerdem soll das neue System kostengünstig herstellbar sein und möglichst wenig Energie für den Antrieb brauchen.

Die Behandlung der Blow-by-Gase verhindert weitgehend, dass mit ihnen Öltröpfen in den Ansaugtrakt kommen. Diese würden Motor-Komponenten wie Ladeluftkühler und Ventile verschmutzen und die Funktion von Abgaskatalysatoren beeinträchtigen. Öltröpfen, die sich an den Schaufeln des Turboladers absetzen,

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

verschlechtern seinen Wirkungsgrad. Damit sinkt die Leistungsdichte des Verbrennungsmotors, die Effizienz sinkt, der Kraftstoffbedarf steigt.

Hochleistungsmotoren benötigen effizientere Abscheidesysteme

Bei hoch aufgeladenen Turbomotoren entstehen unter anderem durch die hohen Mitteldrücke bei der Verbrennung sehr feine Tropfen. Hier kommen die heute eingesetzten, oft in Zylinderkopfhäuben integrierten passiven Ölnebelabscheidesysteme wie sogenannte Impaktor-Vlies-Abscheider an ihre Grenzen. Deshalb müssen für die modernen, hoch aufgeladenen Motoren neue aktive Abscheidekonzepte entwickelt werden. Die verfügbaren aktiven Systeme wie Tellerseparatoren, mit denen selbst Öltröpfchen kleiner $0,5\ \mu\text{m}$ mit hoher Effizienz abgeschieden werden, sind bisher aufgrund ihres Platzbedarfs auf eine Anwendung im Nutzfahrzeugbereich beschränkt.

Zu diesem Zweck entwickelten Forscher des Komponentenherstellers ElringKlinger und des Instituts für Mechanische Verfahrenstechnik (IMVT) der Universität Stuttgart zwei physikalisch unterschiedliche, aktive Abscheidekonzepte: eine Zentrifuge sowie einen Nassabscheider. Diese sind effizienter als bestehende Systeme und beanspruchen weniger Platz. Sie sollen künftig für unterschiedlichste Anwendungsfälle nutzbar sein. Während die Zentrifuge durch hohe Drehzahlen, die entweder durch einen hydraulischen Antrieb oder mit einem Elektromotor erzeugt werden können, zuverlässig Feinstropfen mit einem Tropfendurchmesser $d_{50} < 0,5\ \mu\text{m}$ abscheidet, dient der Nasswäscher für Anwendungen, bei denen nur ein geringer Druckverlust bei gleichzeitig beschränktem Bauraum erzeugt werden darf. Beide Konzepte versprechen hohe Abscheideleistungen und damit eine signifikante Reduktion des Öltröpfeneintrags in den Ansaugtrakt von Otto- oder Dieselmotoren.

Ölnebelabscheide-Systeme schützen Motoren und Umwelt

Am IMVT untersuchten die Forscher insbesondere das Durchströmungs- und Druckverhalten der Trennapparate, da dieses beeinflusst, wie viel Energie der Trennprozess beansprucht. Für die Konzeption der Trennapparate und Zerstäubungselemente des neuen Abscheidesystems entwickelten sie mathematisch-physikalische Modelle sowie Simulationsmethoden.

Bei ElringKlinger lag der Fokus darauf, wie solche Systeme großseriennah und kostenoptimiert hergestellt werden können. Dabei ging es insbesondere auch darum, das Design bauraumoptimiert für den Einsatz in PKW weiter zu entwickeln. Tests von Zwischenstufen auf Motorenprüfständen dienten zur Weiterentwicklung und Optimierung. Die Forscher untersuchten mit einem Prüf-aerosol die Trennkonzepte. Mit den gemessenen Partikelgrößenverteilungen vor und nach dem Trennprozess konnten sie die Trennleistung bei verschiedenen Betriebsbedingungen bewerten.

Nassabscheider – großer Tropfen fängt kleine

Im Forschungsprojekt wurde erstmalig ein auch für PKW geeignetes kompaktes Nassabscheidekonzept für Öl-aerosole erprobt. Mit einem neu entwickelten Modell können die Forscher des IMVT die notwendige Strömungsleistung sowie die mittlere Tropfengröße des Zerstäu-

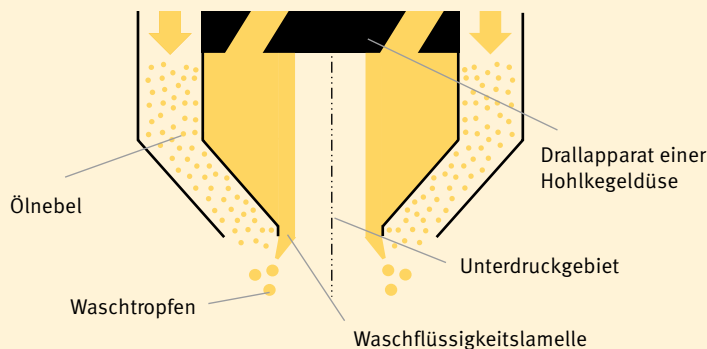


Abb. 1 Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Nassabscheiders

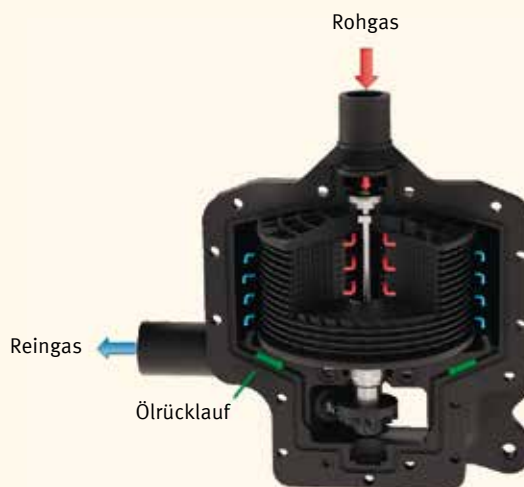


Abb. 2 Strömungsverlauf von Roh- und Reingas in einer Zentrifuge mit hydraulischem Antrieb

bungsprozesses vorhersagen. Gleichzeitig führten sie Grundlagenversuche durch und entwickelten Auslegungsmodelle, um die Auswirkungen der relevanten sprayseitigen Einflussgrößen auf den Abscheideprozess zu untersuchen. Sie optimierten das Nasswäscher-Konzept; dafür verglichen sie, welche Trenngrade bei Waschtropfensprays durch verschiedene Düsen erreicht werden. Mit Strömungssimulationen und Modellen beschrieben sie das Zerfallsverhalten von Düsen sprays aus Hohlkegeldüsen. Mit diesen Daten passten sie das Konzept in Größe und Auslegung für die Abscheidung von Ölaerosolen an (Abb. 1). Neben einer hohen Relativgeschwindigkeit zwischen Waschtropfen und Aerosolpartikel ist auch ein hoher Ölvolumenstrom von Vorteil, denn umso höher ist das Waschtropfenspray konzentriert, und umso wahrscheinlicher ist ein Kontakt mit den Aerosolpartikeln.

ElringKlinger entwickelte eine verbesserte Nassabscheider-Geometrie und integrierte den neuen Nassabscheider in die Zylinderkopfhäube eines 4-Zylinder-Dieselmotors. Dabei sprüht die Ölpumpe des Motors durch eine Hohlkegeldüse Öl in das Blow-by-Gas. Die darin geführten Ölaerosole scheiden sich an den durch Zerstäubung gebildeten, größeren Öltröpfen (Waschtropfen) ab. Auf einem Motorenprüfstand wurde die Funktion anhand gravimetrischer Messungen sowie Partikelgrößenmessungen überprüft. Bei Versuchen mit praxisnahem Öldruck und Ölvolumenstrom zeigte sich, dass diese sowie die Größe der Waschzone und die Verweilzeit des Blow-by-Gasvolumenstroms dort entscheidende Faktoren für eine effiziente Abscheidung sind.

In Abbildung 3 sind die aus der Messung der Tropfengrößenverteilungen an einem 4-Zylinder-Dieselmotor eines deutschen OEM berechneten Trenngrade eines Standard Impaktor-Vlies-Abscheiders und eines Wäschers



Blow-by-Gase im Kurbelgehäuse

Wenn beim Verbrennungsmotor das Gas-Treibstoff-Gemisch zündet, drücken die expandierenden Verbrennungsgase den Kolben im Zylinder nach unten. Dabei gelangt ein Teil des sogenannten Blow-by-Gases an den Kolbenringen vorbei in das Kurbelgehäuse. Um hier einen unzulässig hohen Druck zu verhindern, wird es in den Ansaugtrakt geleitet. Das Gas ist mit sehr feinen Öltröpfchen beladen, die deutlich kleiner als $1\ \mu\text{m}$ sind (massenmittlerer Durchmesser $0,8 < d_{50,3}(\mu\text{m}) < 1,1$). Außerdem enthält es Ruß, Wasser und unverbrannten Kraftstoff. Die Ölbestandteile müssen aus der Strömung separiert werden, da sie sich sonst im Ansaugtrakt ablagern und die Funktion von Turboladern, Ladeluftkühlung oder Einlassventilen beeinträchtigen. Für diese anspruchsvolle Trennaufgabe, Öltröpfchen bei begrenztem Druckverlust sowohl im Volllast- als auch im Leerlaufbetrieb zuverlässig abzuscheiden, werden derzeit hauptsächlich Trägheitsabscheider wie Zyklone oder Prallabscheider (Impaktoren) eingesetzt.

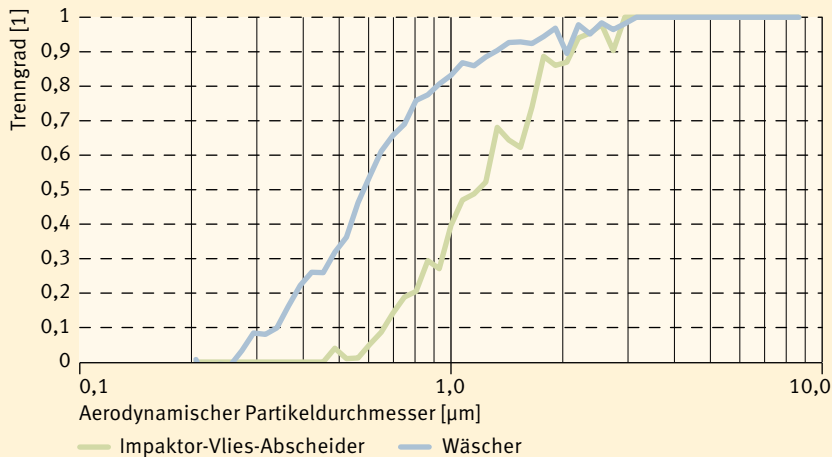


Abb. 3 Vergleich der Trenngrade eines Wäschers und eines Standard Impaktor-Vlies-Abscheiders, gemessen an einem 4-Zylinder Dieselmotor.

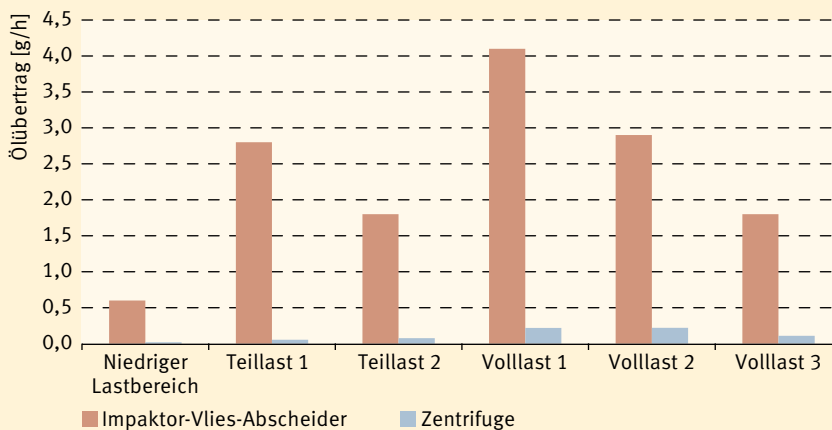


Abb. 4 Vergleich: Abscheideleistung einer Scheibenzentrifuge und Standard Impaktor-Vlies-Abscheider, Ölauftrag gemessen an einem 4-Zylinder Dieselmotor.

gegenüber gestellt. Beide Systeme sind in die Zylinderkopphaube integriert und werden im gleichen Druckverlustbereich von ca. 1,6 mbar betrieben. Impaktor-Vlies-Abscheider werden zur Erzielung sehr guter Abscheideleistungen normalerweise in Bereichen zwischen 10 und 20 mbar betrieben. Es zeigt sich, dass für Anwendungen, bei denen nur ein sehr geringer Druckverlust zur Verfügung steht, das Wäscherkonzept eine stark verbesserte Abscheideleistung bei gleichzeitig geringem Bauraumbedarf gewährt.

Scheibenzentrifuge – und der Ölnebel rotiert raus

Hauptbauteil der Scheibenzentrifuge sind parallel übereinander angeordnete, synchron rotierende Scheiben, auf denen sich eine Vielzahl von Kanälen befindet, innerhalb derer die Abscheidung stattfindet. Die Scheiben besitzen eine zentrale Bohrung, durch die das Aerosol den Kanälen auf den Scheiben zugeführt wird (Abb. 2).

Am IMVT untersuchten Forscher, wie Gehäuse und Scheiben der Zentrifuge optimal zu gestalten sind. Dabei wurde als optimale Form für die Kanäle auf den einzelnen Scheiben eine Evolventenform festgelegt. Auf Basis von umfangreichen CFD-Berechnungen mit experimentellem Abgleich entwickelten sie ein reduziertes numerisches Modell, welches die Abscheidung bei verschiedenen Betriebspunkten innerhalb der Kanäle sehr schnell abschätzen kann. In Versuchen ermittelten sie die Grenzen und entscheidenden Einflüsse bei der Integration dieses Konzeptes in einen anwendungsgerechten Apparat. In diesem werden mehrere Scheiben übereinander angeordnet, woraus ein Scheibenpaket resultiert. Das verwendete Konzept einer aerodynamischen Dichtung verbessert dabei die Reibleistung und Langzeitlauffähigkeit.

ElringKlinger entwickelte auf Grundlage dieser Erkenntnisse Separatorscheiben mit engen Evolventenkanälen und schmalen begrenzenden Rippenstrukturen und prüfte, wie diese sich für das spätere Serienprodukt aus Kunststoff fertigen lassen. Hier ging es darum, die Herstellbarkeit des Spritzgusswerkzeugs sowie die Füllung der Form mit Kunststoffschmelze einzuschätzen und zu bewerten.

Zur Auslegung des hydraulischen Antriebs der Zentrifuge führten die Forscher Strömungssimulationen und Versuche durch. Hier ging es darum, Druckverluste verschiedener Düsenformen zu erfassen sowie eine möglichst effiziente Fluidführung an der Turbinenradschaufel zu erreichen. Auch die Möglichkeit, den Scheibenseparator elektrisch anzutreiben, wurde untersucht. Dafür sprechen höhere Freiheitsgrade in der Regelung der Zentrifugendrehzahl über das gesamte Betriebskennfeld des Verbrennungsmotors. In Abbildung 4 sind die an einem 4-Zylinder-Dieselmotor gemessenen Ölauftragswerte einer Zentrifuge im Vergleich zu einem Standard Impaktor-Vlies-Abscheider dargestellt. Die hohe Abscheideleistung der Scheibenzentrifuge führt zu einer signifikanten Reduktion des Ölauftrags auf Werte kleiner $0,5\text{g/h}$ Öl für das gesamte motorische Betriebskennfeld.

Systeme senken Ölverbrauch und steigern Effizienz

Speziell im PKW-Bereich können leistungsfähige Ölnebel-Abscheidesysteme auch die Gesamteffizienz des Motors steigern. Sie reduzieren den Kraftstoffbedarf und die Gesamtemissionen. Auch bei Stationärmotoren in Blockheizkraftwerken können bessere Ölnebelabscheider dazu beitragen, den Wirkungsgrad zu steigern. Bei ElringKlinger wurden die unterschiedlichen Konzepte inzwischen zur Serienreife fertig entwickelt. Die beiden Trennapparate Scheibenzentrifuge und Nasswäscher wurden für den Serieneinsatz in PKW und NFZ von unterschiedlichen OEM angefragt. Aktuell befindet sich ElringKlinger bei einem deutschen PKW-Hersteller mit der Scheibenzentrifuge in der Serienerprobung.



Abscheidesysteme auch für die Industrie

Die entwickelten aktiven Abscheidesysteme zur Entfernung von feinen Partikeln oder Tropfen eignen sich über den Einsatz in Kraftfahrzeugen hinaus auch für weitere Anwendungsgebiete. Sie lassen sich beispielsweise bei Stationärmotoren in Blockheizkraftwerken oder zur Abtrennung von Ölaerosolen aus industriellen Produktionsprozessen sowie Druckluftanlagen einsetzen. Bei der spanenden Werkstoffbearbeitung geht es beispielsweise darum, Kühlschmierstoffaerosole abzuscheiden.

Das Abscheidekonzept der neuartigen Scheibenzentrifuge kann auch für die Auftrennung von Suspensionen und Emulsionen sowie zur Abtrennung von Feststoffen aus Gasen genutzt werden. Es bietet somit Potenzial dafür, vielfältige Aufgaben und Problemstellungen in der mechanischen Trenntechnik zu bewältigen. Neben der Wiederverwendung von Kühl- und Schmierstoffen bewirkt ein effizienteres Abscheidesystem, dass die Belastung der Luft durch feine Partikel und Aerosole in den Werkhallen reduziert wird, dadurch verbessern sich die Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter.

Da die Entfernung von Ölnebel aus Abgasen sowohl Emissionen reduziert als auch Energie und Ressourcen einsparen kann, arbeiten verschiedene Forschungseinrichtungen und Firmen daran, dafür geeignete Trennanlagen zu entwickeln. Beispielsweise sind Forscher des Instituts für Mechanische Verfahrenstechnik der Universität Stuttgart dabei, einen neuartigen, hybriden Gegenstromimpaktor zu entwickeln. Durch eine Optimierung der Strömungsführung, einhergehend mit einer Miniaturisierung der Abscheidestrukturen, wollen sie eine deutliche Effizienzsteigerung im Vergleich zu konventionellen Impaktor-Abscheidern erzielen. Die Entwicklung erfolgt unter Einsatz moderner numerischer Methoden in Verbindung mit komplexer Mehrskalmodellierung. Der Fokus liegt auf der Abscheidung von Ölaerosolen, welche bei der Druckluft- und Vakuumerzeugung entstehen. Im Laufe des Projekts werden sie Prototypen herstellen und unter realen, industriellen Rahmenbedingungen testen.

Projektbeteiligte

- » **Betriebliche Optimierung Abscheidesystem | Herstellung und Test der Abscheidesysteme:**
ElringKlinger AG, Dettingen/Erms, Dr. Stefan Dwenger, stefan.dwenger@elringklinger.com, Dr. Gabriele Gorbach, gabriele.gorbach@elringklinger.com | www.elringklinger.com/de
- » **Entwicklung Abscheidesystem | Modellierung und Computersimulation des Abscheidemechanismus:**
Universität Stuttgart – Institut für Mechanische Verfahrenstechnik (IMVT), Prof. Dr.-Ing. Manfred Piesche, piesche@imvt.uni-stuttgart.de | www.imvt.uni-stuttgart.de

Links

- » Info-Broschüre Kunststoffmodule und Ölnebelabscheidung ElringKlinger:
https://www.elringklinger.com/sites/default/files/brochures/downloads/elringklinger_lightweight_plastic_components_de_201708_kopierschutz.pdf

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dunstabsaugung im Walzwerk. BINE-Projektinfo 5/2017
- » Stahlkolben für effizientere Dieselmotoren. BINE-Projektinfo 14/2016
- » Elektromobilität – was uns jetzt und künftig antreibt. BINE-Themeninfo I/2017
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_16_2017

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Gordon Kaußen
52425 Jülich

Förderkennzeichen
03ET1103A,B

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Gerhard Hirn

Urheberrecht
Titelbild, Abb. 2–4: ElringKlinger
Abb. 1: Universität Stuttgart, Institut für
Mechanische Verfahrenstechnik (IMVT)

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages