

Publikation

Ölnebelabscheidung in der Kurbelgehäuseentlüftung auf engstem Raum

Dr. Pedro Bastias • Thomas Brückle • Dimitrius Caloghero • Dr. Dieter Graf
Thorsten Sattler-Lägel • Bernd Spaeth



VICTOR REINZ®

MTZ

MOTORTECHNISCHE ZEITSCHRIFT

12|2005

66. Jahrgang
Dezember 2005
ISSN 0024-8525 10614

www.all4engineers.com

12



ENTWICKLUNG

Effiziente Modellierung
von Ventiltfedern

Ventiltriebsvariabilitäten
für moderne Ottomotoren

Ölnebelabscheidung in der
Kurbelgehäuseentlüftung

Abgasseitige Kraftstoff-
einspritzung für aktive
Partikelfilterregeneration

FORSCHUNG

Homogene Dieselerbrennung
unter Verwendung
synthetischer Kraftstoffe

TITELTHEMA

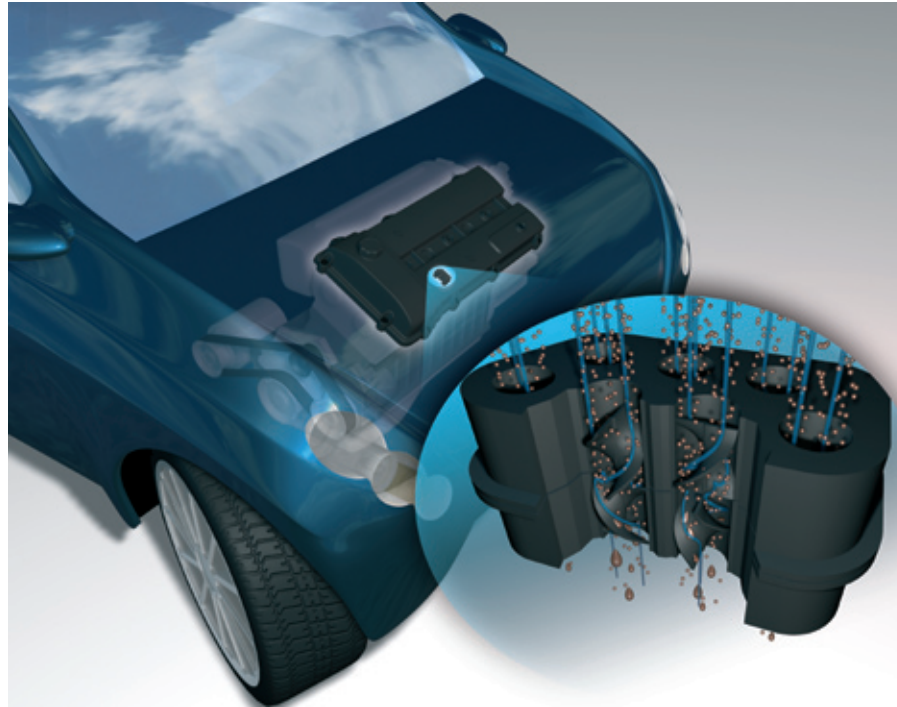
Neuer V8 Ottomotor von Mercedes-Benz

Sonderdruck aus
MTZ Motortechnische Zeitung
66. Jahrgang, Nr. 12/Dezember 2005
Vieweg Verlag
GWV Fachverlage GmbH
Wiesbaden

Ölnebelabscheidung in der Kurbelgehäuseentlüftung auf engstem Raum



Ein wichtiger Bestandteil der Kurbelgehäusebe- und -entlüftung ist die Ölnebelabscheidung aus dem Blow-by-Gas. Ölabscheidersysteme müssen nicht nur hocheffektiv, robust, funktionssicher, flexibel und klein im Bauraum sein, sondern auch kostengünstig. Die REINZ-Dichtungs-GmbH, ein Unternehmen der DANA Corporation, stellte sich mit einem globalen Entwicklungsteam dieser Aufgabe. Herausgekommen ist dabei eines der derzeit kleinsten und gleichzeitig leistungsfähigsten Ölabscheidersysteme, der so genannte Multitwister®.



1 Einführung

Die Anforderungen an Kurbelgehäuseentlüftungssysteme für neue Verbrennungsmotoren werden heute und in der Zukunft vor allem durch eine strenge Abgasgesetzgebung, verlängerte Serviceintervalle, höhere Leistungsdichten (Downsizing in Kombination mit Ladern), Direkteinspritzung und Entdrosselung (insbesondere Ottomotoren) weiter steigen. Die Rückführung der Grob- und vor allem Feinölpartikel aus dem Blow-by-Gas wird somit neben der Abdichtung des Systems und der Druckregelung zum zentralen Thema für die beteiligten Entwicklungslieferanten.

Die Konzeption und Auslegung eines Komplettsystems setzt zwangsläufig die Kenntnis folgender Randbedingungen und Details voraus:

- Blow-by-Kennfeld mit Veränderungen über der Lebensdauer
- Menge der Zusatzluft in l/min (z.B. durch Vakuumpumpen)
- Saugseitiges Unterdruckkennfeld
- Menge und Beschaffenheit der Ölpartikel (Rohgas)
- Zielwert für den Ölgehalt des Blow-by-Gases nach dem Abscheidesystem in g/h (Reingas) sowie der Ölreibkennlinie (bei Dieselapplikationen)
- Zulässige Druckverhältnisse im Kurbelgehäuse

- Motorseitige Möglichkeiten zur Rückführung des abgeschiedenen Öls (Drainage)
- Betriebspunkt abhängiges Verhalten von Systemkomponenten wie Druckregelventile, Drosseln, Rückschlagventile und der meist mehrstufigen Ölabscheidersysteme selbst

Abhängig vom Entwicklungsstadium des Verbrennungsmotors und dessen Innovations- und Technologiegehalts sind von diesen notwendigen Randbedingungen zunächst weniger als 10 % bekannt. Während der verschiedenen Prototypenbaustufen können weitere 80 % bis 85 % der Auslegungskriterien für die Kurbelgehäuseentlüftung inklusive Ölnebelabscheidung ermittelt werden. Meist sind sichere Kenndaten erst kurz vor Serienstart verfügbar oder werden – mit ersten Felderfahrungen gewichtet – nach der Pilotphase einer Rekonfiguration unterzogen.

Die folgenden Ausführungen beschreiben Aufbau, Funktion und Entwicklung eines leistungsfähigen Ölabscheidersystems,

das den gestellten Anforderungen an eine hohe Flexibilität mit gleichzeitig minimalem Rekonfigurationsaufwand bei einfacher und somit kostengünstiger Aufbau- und Verbindungstechnik gerecht werden kann. Sehr gute Ergebnisse werden erzielt, wenn die motorseitige Entwicklungsphase konsequent durch numerische sowie empirische, kennfeldbasierte Entwicklungstools und geeignete Labor- sowie Motorenprüfstände begleitet wird.

Ein technischer sowie kommerzieller Vergleich von Multitwister-Systemen mit etablierten, passiven Applikationen soll eine Orientierung und Positionierung erleichtern. Als passive Separatoren werden Systeme bezeichnet, bei denen die Ölnebelabscheidung ohne Fremdenenergie [1] und ausschließlich auf Basis der Strömungsenergie des Blow-by-Gases und der Partikelträgheit erfolgt.

2 Multitwister®-Ölabscheidersysteme

2.1 Aufbau

Parallel geschaltete Axial-Zyklone mit zwei 180-Grad-Leitwendeln [2] und entgegen gesetztem Drehsinn werden als Multitwister® bezeichnet. Konstruktionsbedingt wird der Multitwister® aus zwei identischen Twister-Platten aufgebaut, die seitenverkehrt zusammen gefügt werden, so dass je zwei entgegengesetzte Wendeln aufeinander stoßen, **Bild 1**.

2.2 Funktion

Das ölnebelhaltige Blow-by-Gas wird im Eintrittsrohr zunächst linear und danach im Bereich der ersten Leitwendel in einer Rotationsbewegung beschleunigt. Beim Übergang zur zweiten Leitwendel erfährt die Strömung eine starke Turbulenz, **Bild 2**. Wegen der dabei auftretenden hohen Beschleunigungen und den geringen räumlichen Distanzen trifft ein Großteil der Öltröpfchen auf die Außenwände. Dabei bilden sie einen Wandfilm aus,

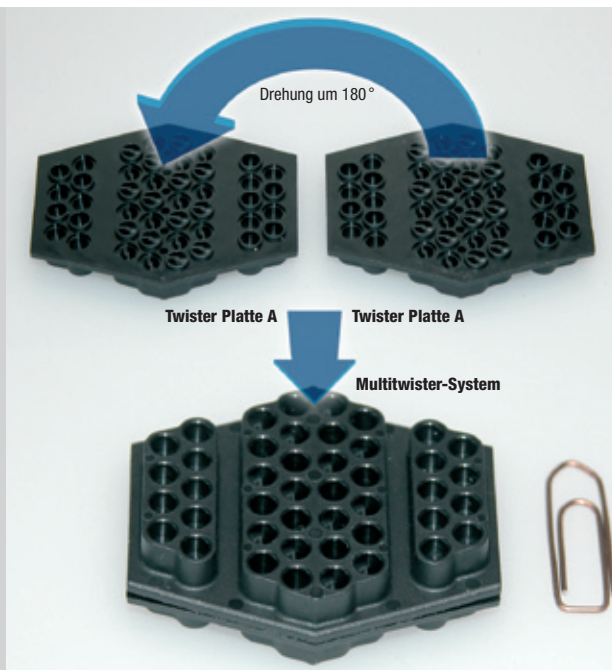


Bild 1: Aufbau eines Multitwister-Ölabscheidersystems aus zwei identischen Spritzgießformteilen

der durch den Blow-by-Strom aus dem Ausgangsrohr in einen Beruhigungsraum transportiert wird. Der Gasstrom wird durch die zweite Wendel unter Rückgewinnung von Drallenergie zum Teil wieder linearisiert [3]. Durch eine entsprechende Gestaltung des Rohrendes kann der Wandfilm als Rinnsal oder in großen Tröpfchen ablaufen.

2.3 Optimale Geometriegestaltung

Aufgrund der vielfältigen Herausforderungen durch geometrische und physikalische Randbedingungen ist eine rein experimentell basierte Herangehensweise nach dem Trial-and-Error-Prinzip nicht zielführend. Die geometrischen Parameter des Multitwister® wurden daher mit numerischen und statistischen Methoden (Computational Fluid Dynamics CFD und Design Of Experiments DOE) hinsichtlich eines maximalen Verhältnisses Ölabscheidegrad zu Druckverlust optimiert. Ziel der mehrstufigen, statistisch basierten Optimierung des Ölabscheidegrad-zu-Druckverlust-Verhältnisses mittels

DOE ist eine optimale geometrische Ausprägung von Leitgeometriewinkel, Rohrdurchmesser und -abstand, Ein- und Abströmgeometrie der Twisterrohre sowie der Öl-Spraylenkung. Zu berücksichtigen sind ferner geometrische Randbedingungen sowie die Oberflächenrauigkeit, Temperatur, Viskositäten und Dichten der beteiligten Strömungsphasen. Alle Variablen wurden dabei stets in einem Bereich verändert, der die problemlose Fertigung im Spritzgießverfahren sicherstellt. Für die numerische Berechnung wurde nach einer vorgeschalteten Konvergenzanalyse das Öltröpfchenspektrum selbst zur Berechnung näherungsweise mit drei verschiedenen Tröpfchengrößen (z. B. 1, 3 und 10 µm) als separate Strömungsphase berücksichtigt. Kapillareffekte, Wandreibung und Turbulenzen wurden erfahrungsgemäß mit geeigneten Modellen [4] beschrieben. Nachdem praxisnahe, variable Randbedingungen einströmungs- und abströmungsseitig festgelegt wurden, konnten Druckverlust, Turbulenzgrad, Strömungsgeschwindigkeit

und Reibungsverlust des Blow-by-Gases berechnet und deren Einfluss auf das Abscheideverhalten der verschiedenen großen Ölpartikel sowie die abströmseitige Spraylenkung beobachtet werden. Bild 2 zeigt beispielhafte Strömungsbahnen bei der Durchströmung eines Twisterrohres. Die Farben zeigen die Abnahme des statischen Drucks (Druckverlust) innerhalb des Systems (Druckverlust von rot nach blau). Durch Einsatz der numerischen Strömungssimulation (CFD) konnte der erste Entwurf des Multitwister® nachhaltig verbessert werden, indem geometrisch vermeidbare Wirbeldruckverluste auf ein Minimum reduziert werden konnten. Weiterhin zeigte sich bei der mathematischen Betrachtung vieler parallel geschalteter Twisterrohre von beliebigem Durchmesser, dass eine strömungstechnische Interaktion der Einzelrohre nahezu ausbleibt.

2.4 Anwendungsbereich

Der Aufbau des Multitwisters aus einem standardisierten Spritzgussteil deckt ei-

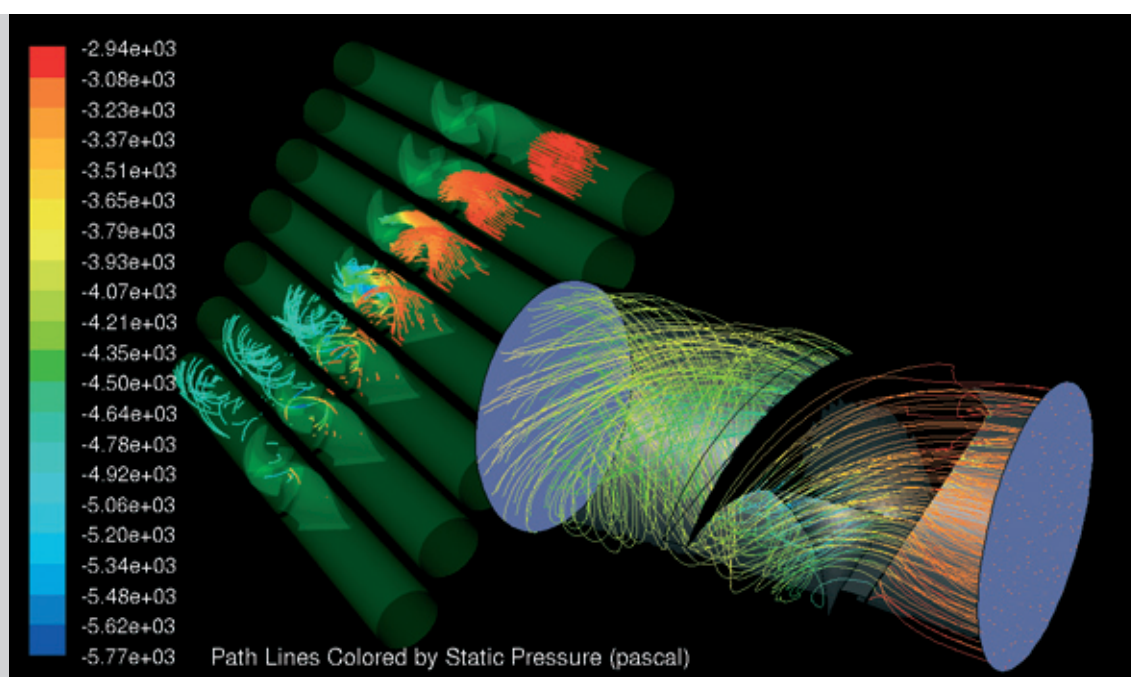


Bild 2: Numerische Berechnung der Strömungsverhältnisse im Zu- und Abstrom sind Basis für die Detailoptimierung der Geometrie, hier: Druckverlust über einem Twisterelement

nen weiten Bereich von Blow-by-Mengen ab. Mit einer standardisierten 3 mm-Multitwister®-Platte mit 44 Einzelröhren zur Feinabscheidung wie in Bild 1 dargestellt, können durch den Austausch der Leitgeometrieinsätze gegen Blindstifte im Spritzgießwerkzeug zwischen 2 l/min und etwa 80 l/min nominales Blow-by gereinigt werden. Durch Parallelanordnung mehrerer Twister-Platten wird momentan eine Applikation im Nutzfahrzeubbereich mit 350 l/min abgedeckt. Denkbar ist allerdings eine beliebig hohe Luftmenge. Der Multitwister® kann mit größerem Röhrendurchmesser von 6 mm bis 13 mm auch im Bereich der Vorabscheidung eingesetzt werden, **Bild 3**. Die Vorabscheidung hat die Aufgabe, schwallendes Öl oder Ölschaum vor der Feinabscheidung abzufangen. Ursachen für diese Ölmenge können Ölreißen durch große Fremdluftmengen und Schaum durch Ölpannschen sein. Der Multitwister®-Vorabscheider fängt grobe Ölpartikel ab. Der gegenüber konventionellen Vorabscheidern gewonnenen Bauraum kann

als Beruhigungsraum des Öls genutzt werden.

2.5 Bauraumanforderungen und Einbaulage

Die Entwicklung von Ölabscheidersystemen unterliegt zunehmend der Anforderung nach einem geringen Platzbedarf und im Fall des Fußgängeraufprallschutzes nach einer niedrigen Bauhöhe. Gängige Zyklone, bei denen die axiale Strömungsrichtung im Zyklon umgekehrt wird (so genannte Reverse Flow Cyclones [5]) und das abgeschiedene Öl den Zyklon in entgegengesetzter Richtung zum Gas verlässt, verschlechtern ihre Abscheidung, wenn die Öldrainage nicht in Richtung der Schwerkraft erfolgt. Nach eigenen Untersuchungen scheint die Ursache das Auftreten von Druckpulsationen im Bereich des kegelförmigen Ölauslaufs des Zyklons zu sein. Schräglagen von Zyklonen zur Reduzierung der Einbauhöhen sind durch Funktionseinschränkungen somit nur bedingt möglich. Beim Multitwister® (Straight Through

Cyclone [5]) strömen Gas und abgeschiedenes Öl mit hoher Geschwindigkeit in gleicher Richtung. Diese Zwangsdurchströmung bietet den Vorteil, dass der Multitwister® unabhängig von der Einbaulage funktioniert. Durch den einfachen, zweiseitigen Plattenaufbau, der in beliebigen geometrischen Formen denkbar ist, und der nicht notwendigen Trennung von Öl und Gas im und nach dem Ölabscheider stellen selbst sehr beschränkte räumliche Verhältnisse kein Problem dar. Die einfache Strömungsführung und der flache Aufbau des Multitwisters erlauben eine problemlose Einbindung in eine Ventilhaube oder ein Blow-by führendes Modul, beispielsweise durch einfaches Einstecken.

2.6 Funktionssicherheit

Mit Kondenswasser und Eiskristallen angereichertes Blow-by-Gas sowie schlechte, harzartige Ölqualitäten mit hohem Rußgehalt sowie schaumartige, gemischte Derivate (insbesondere Ottomotoren) gefährden in der Regel die Funktion

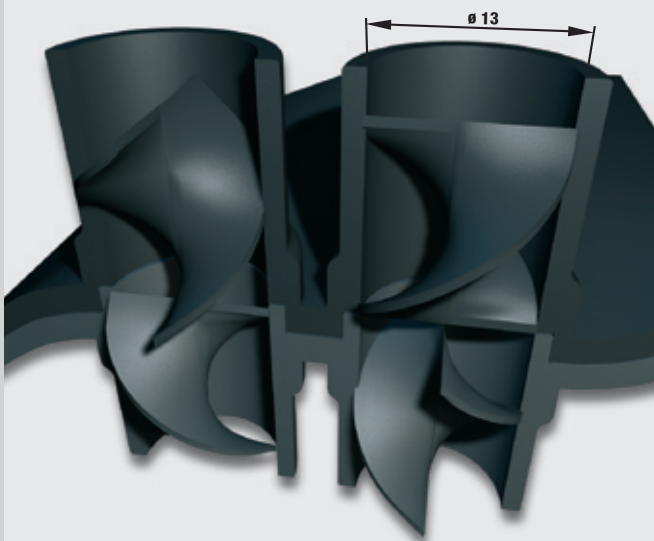


Bild 3: Schnittdarstellung eines Applikationsbeispiels mit Multitwister® als Grobölabscheider

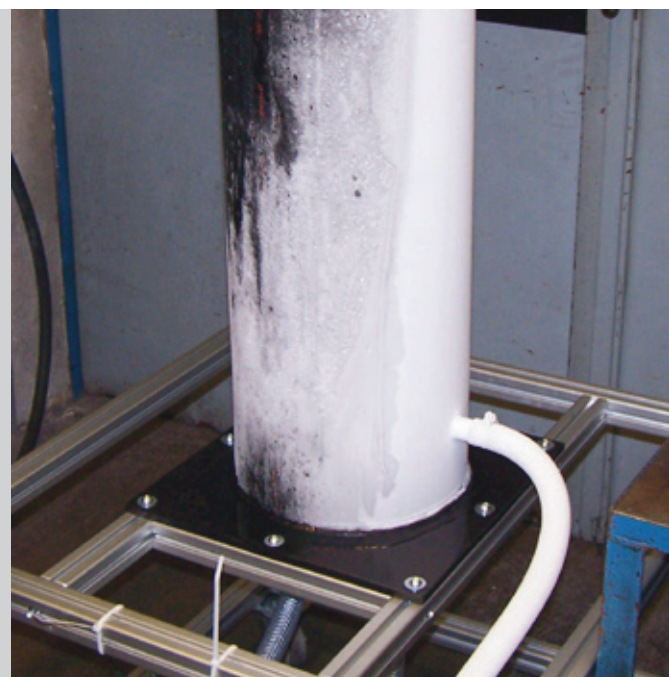


Bild 4: Vereisungs- und Versottungserprobungen am Prüfstand ...

von Bauelementen im Ansaug- und Blow-by-Trakt. Mit der Zwangsdurchströmung und hohen Gasgeschwindigkeiten, d. h. hohen dynamischen Drücken, werden Ablagerungen in relevanten Ölabscheiderbereichen verhindert. Der Multitwister® ist deshalb äußerst robust gegen Versottung und Vereisung. Anhand von Worst-Case-Versuchen mit harzartigen Ölqualitäten und Schaumbildnern, bei denen mögliche Kalt-Warm-Variationen von Multitwister® und wassertröpfchenhaltigem Luft-Ölgemisch zwischen -35 °C und +5 °C getestet wurden, konnte gezeigt werden, dass die Funktion des Systems ohne nennenswerten Druckverlustanstieg über der Zeit stets optimal gewährleistet blieb. Selbst beim so genannten Brötchen-Hol-Test, bei dem periodisch kurzzeitig +5 °C warmer Nebel durchgesaugt wird und dann das System wieder strömungslos unter den Gefrierpunkt absinkt, konnte kein negativer Effekt beobachtet werden. Während der Entwicklung muss in Dauerläufen die Einfrier- und Versottungssicherheit motorspezifisch getestet werden,

Bild 4. Dazu wird das Blow-by-Gas in einem Wärmetauscher abgekühlt und durch den unter dem Gefrierpunkt gehaltenen Multitwister® gezogen. Hier können alle denkbaren Blow-by- und Ölqualitäts-szenarien erprobt werden. Langzeit-Fahrzeugversuche im firmeneigenen Fuhrpark simulieren einen alljahreszeitlichen, sonst unspezifizierten Alltagsbetrieb.

2.7 Vergleich mit herkömmlichen Systemen

Zur Orientierung und Positionierung des Multitwister® im Vergleich zu den am Markt gängigen Systemen dient ein tabellarischer Vergleich, **Tabelle 1**. Wichtige Grundeigenschaften, wie die mittleren, abscheidbaren Partikelgrößen, Skalierbarkeit, der Platzbedarf und Anwendungsbereich sind Tabelle 1 zu entnehmen. Bezogen auf die Leistungsfähigkeit und die charakteristische Kennlinie ist der Multitwister® mit dem weit verbreiteten (Multi-) Zyklon vergleichbar, **Bild 5**. Um Eigenheiten, Vor- und Nachteile der beiden hochleistungsfähigen Systeme

Abscheiderart	Volumen	Labyrinth	Multi-Zyklon	Multitwister
Abscheideprinzip	Trägheit	Prall	Fliehkraft	Fliehkraft
Partikelgröße, typische	≥ 8 mm	≥ 6 mm	≥ 0,6 mm	≥ 0,6 mm
Skalierbarkeit	0	+	+	++
Platzbedarf	0	0	+	++
Anwendungsbereich				
Grobabscheidung	x	x		x
Feinabscheidung		(x)	x	x

Tabelle 1: Vergleich der wichtigsten Ölabscheiderkonzepte

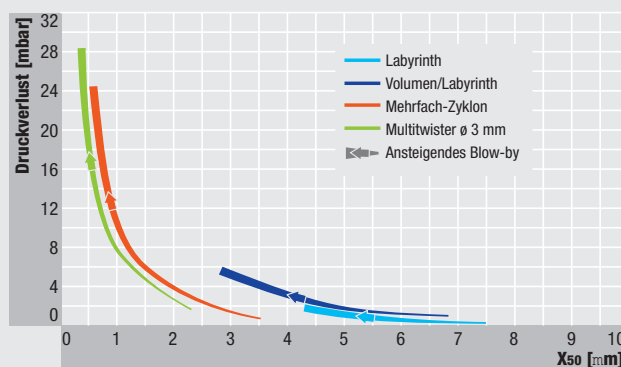


Bild 5: Prinzipvergleich des Abscheide- und Druckverlustverhaltens verschiedener Ölabscheiderkonzepte bei ansteigendem Blow-by-Volumenstrom



... und am Fahrzeug belegen die Robustheit des Multitwister®-Ölabscheidersystems

genauer zu betrachten, kann eine Vergleichstabelle herangezogen werden, die neben generellen Systemeigenschaften wie Ölabscheiderprinzip, Aufbau- und Verbindungstechnik sowie die technische Leistungsfähigkeit, die Robustheit und Anpassungsfähigkeit an die Erfordernisse der sich stetig ändernden Randbedingungen in der Entwicklungsphase aufzeigt, **Tabelle 2**. Den Themen Kostendruck und Bauraumreduzierung trägt die Vergleichstabelle durch typische systembehaftete Kosten- und Bauraumdaten Rechnung.

3 Entwicklungsumfeld für neue Ölabscheidesysteme

Mit den steigenden Anforderungen an die

Ölnebelabscheidung muss auch die Zielsetzung an das Entwicklungsumfeld zur Optimierung der Kurbelgehäuseentlüftung angepasst werden. Lange Zeit galt es, lediglich grobe Ölpartikel möglichst vollständig rückzuführen. Heute besteht die Aufgabe darin, unter Nutzung der Energie aus dem Volumenstrom der Kurbelgehäuseentlüftung ein Maximum des Ölnebels mit feinsten Partikeln $<1 \mu\text{m}$ über deren Massenträgheit abzuscheiden. Zu den Randbedingungen zählen das Einhalten des Kurbelgehäusedrucks zwischen 0 mbar und etwa -30 mbar im Bereich des Motorkennfelds, die sichere Abscheidung und Ölrückführung ins Kurbelgehäuse über die Lebensdauer des Motors und bei allen Temperaturen, auch in Ausnahmefällen wie Schwenklagen und Ölüberfüllung. Weitere Anforderungen sind die Absicherung gegen Ölreißen sowie die Gewährleistung der Wartungsfreiheit des Systems.

3.1 Grundlegende Bestandteile

Das geeignete Entwicklungsumfeld wird primär durch die Motorenprüfstände, den Aerosolprüfstand und die numerische Strömungssimulation (CFD) gebildet, **Bild 6**. Mit einer speziell entwickelten Methode, der so genannten Kennfeld basierten Ölabscheiderauslegung, wird über einen Rechenalgorithmus das Multitwister®-System mit Vor- und Feinabscheidung sowie Druckregelung im gesamten Betriebskennfeld vollständig beschrieben und ausgelegt.

3.2 Kennfeld basierte Ölabscheiderauslegung

Die Kennfeld basierte Ölabscheiderauslegung nutzt als Eingangsgrößen die motorspezifisch gegebenen Kennfelder von Blow-by, Ansaugunterdruck und bei belüfteten Kurbelgehäusen die Druckdifferenz an der Drosselklappe, **Bild 7**. Die vom Volumenstrom- und Druck abhängigen Kennlinien der Vor- und Feinabscheider sowie des Druckregelventils und weiterer Drosseln und Rückschlagventile

	(Multi-) Zyklone	Multitwister
Allg. Systembeschreibung		
Abscheideprinzip	passiv, Massenträgheit	passiv, Massenträgheit
Typischer Einsatz	Haupt-/ Feinabscheider	je nach Auslegung
Montage/ Einbaulage	Abscheidung lageabhängig	Abscheidung relativ lageunabhängig jedoch Vorzugsrichtung
Verbindungs- /Fügetechnik (inkl. Abdeckung Strömungsraum)	3 (+1) teilig, Abdichtung durch 3 Fügeprozesse	2 (+1) teilig, Abdichtung durch 1 Fügeprozess
Leistungsfähigkeit		
Abscheideeffektivität (Tröpfchengröße, die zu 50 % abgeschieden wird, bei 20, 40, 60 l/min Blow-By) . . . mit Druckverlust	20: 3,8 mm 2,0 mbar 40: 1,5 mm 4,0 mbar 60: 1,0 mm 7,0 mbar	Als Vorabscheider 20: 4,0 mm 1,0 mbar 40: 3,1 mm 1,2 mbar 60: 2,2 mm 2,2 mbar Als Feinabscheider 20: 2,9 mm 0,6 mbar 40: 1,4 mm 3,0 mbar 60: 1,0 mm 6,5 mbar
Sicherheit gegen Ölreißen	schlecht, Vorabscheidung erforderlich	gut, Mehrstufenkonzept möglich und empfehlenswert
Verhalten in der Kälte ("Brötchen-Hol-Test" im Winter)	Druckanstieg, Funktion eingeschränkt, da Änderung Abscheidegeometrie	moderater Druckanstieg, Funktion ok, da zwangsdurchströmt
Gefährdung bzgl. Versottung	empfindlich, da innere Drainage	unempfindlich, da zwangsdurchströmt
Anpassung/ Skalierbarkeit der Leistung an Systemerfordernisse (Entwicklungs-/ Prototypenphase)	kaum möglich, Auslegung nur durch CFD-Berechnung	gut möglich, Austausch Twisterplatte mit versch. Twisteranzahl und -durchmesser, CFD-Vorauslegung gut
Anpassung/ Skalierbarkeit der Leistung an Betriebspunkt	möglich, jedoch nur durch (dis-) kontinuierliche Schaltung von mehreren Strömungsräumen/-öffnungen	möglich, durch Zweiteiligkeit des Systems: adaptiver Multitwister
Kosten/ Gewicht		
typischer Bauraum für ein System	0,15 - 0,25 dm ³	ca. 0,06 dm ³
Systemgewicht	30 - 70 g	7 - 10 g
Wartung erforderlich	nein	nein
(relative) Kosten, ca. Angaben (Material-, Fügeprozesskosten)	100 %	30 %

Tabelle 2: Detaillierter technischer und kommerzieller Vergleich Multi-Zyklone und Multitwister®-Systeme

werden in die Berechnung mit einbezogen. Als Ergebnis erhält man das Kennfeld des Kurbelgehäusedrucks und der Abscheiderkenngrößen (z. B. X_{50} -Wert), **Bild 8**. Die Variation der Abscheider- und Ventilkennlinien ermöglicht es, eine optimale Balance zwischen vorgegebenem Kurbelgehäusedruck, der Öldrainage und maximaler Leistungsfähigkeit des Ölabscheidersystems zu finden.

3.3 Typischer Ablauf einer Systemauslegung

Mittels Motorenprüfstandsmessungen sind die Basisdaten wie die drehzahl- und drehmomentabhängigen Kennfelder von Blow-by und Ansaugunterdruck sowie die Ölmengen an der Ansaugstelle und im ungereinigten Blow-by-Gasstrom

bekannt. Die Partikelgrößenverteilungen werden mit einem optischen Partikelzähler gemessen. Innerhalb eines Größenbereichs, der von $0,2 \mu\text{m}$ bis $12 \mu\text{m}$ reicht (typisches Partikelspektrum eines Motors), wird die Anzahl von Ölparkeln unterschiedlicher Größe in Größenklassen eingeteilt und damit die Größenverteilung vor dem Ölabscheidersystem bestimmt. Am Aerosolprüfstand wird ein Ölnebel mit den motorspezifischen Partikelgrößen erzeugt. Dabei können Volumenströme bis 200 l/min eingestellt werden, der Druck ist variabel. Der Prüfstand ist beheizt und in allen Raumrichtungen bis 45° schwenkbar. Mit einem mittels Rapid Prototyping hergestellten Funktionsmusters wird aus dem Verhältnis der Partikelanzahl in den Größenklassen

von Reingas (nach dem Ölabscheider) zur Partikelanzahl der entsprechenden Größenklassen im Rohgas (vor dem Ölabscheider) die Effizienzkurve mit den auftretenden Druckverlusten des Systems bestimmt, **Bild 5** und **Bild 8**.

Das Funktionsmuster besteht aus einem mittels Kennfeld basierter Auslegung berechneten Multitwister®- und Regelventil-System, zumindest aber dem strömungsrelevanten Innenraum des Ölabscheidersystems oder der ganzen Ventilhaube. Zunächst werden das Schaltverhalten des Regelventils und die Ölrückführung überprüft. Mit Ölmengen $>500 \text{ ml/h}$ wird die Funktion der Vorabscheidung getestet. Durch ein glasklares Funktionsmuster lassen sich zudem Strömungsfelder, Toträume und eine mögliche Ölseebildung (am Aerosol-Prüfstand und am Motor) leicht beobachten und somit der experimentelle Abgleich mit den Daten aus der CFD-Berechnung vollziehen. So kann das System rechnerisch weiter optimiert werden. Der Motor ist am Ende der internen Entwicklung auch Instanz für die kundenspezifische Evaluierung des Ölabscheidermoduls. Das Ergebnis beinhaltet immer die Restölmengen und die Kurbelgehäusedrucke.

3.4 Einbezug numerischer Methoden

Bei der Auslegung von Ölabscheidermodulen spielt die numerische Berechnung mittels CFD-Software mittlerweile eine zentrale Rolle. Der virtuelle Entwurf kann dadurch deutlich verbessert werden. Weiterhin bietet sich so die Möglichkeit in einer frühen Entwicklungsphase schnelle und aussagekräftige Optimierungszyklen in Kombination mit Laborprüfständen durchzuführen. Zur Nutzung der numerischen Strömungssimulation werden die Strömungsräume direkt aus dem 3D-CAD-Modell abgeleitet und mit finiten Elementen abgebildet. Neben den wichtigsten physikalischen Eingangsgrößen und Randbedingungen ist auch die Wahl eines geeigneten Berechnungsmodells mit passend gewählten Koeffizienten von

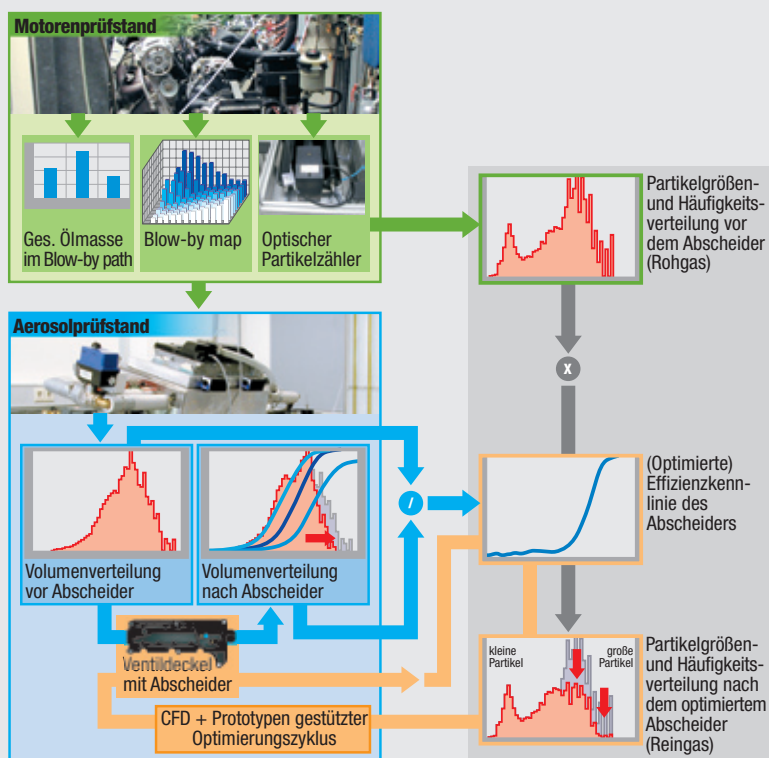


Bild 6: Optimierungszyklus unter Einbeziehung von Motorenversuchen, Aerosolprüfstand, CFD-Simulation und Prototypen

hoher Bedeutung. Allgemein eignen sich hierbei Mehrphasenmodelle (Berücksichtigung von Gas- und Flüssigphasen). Das Discrete Phase Model (DPM) hat sich als sehr geeignet erwiesen, da es Gasstrom und Flüssigphasen in dispergierter Form mit allen wichtigen Interaktionseigenschaften genau berechnen kann. Um mit den numerischen Modellen realitätsnahe Ergebnisse erzielen zu können, ist eine Kalibrierung notwendig, da die für die Systemauslegung wichtigen Ergebnisse Druckverlust, Turbulenzgrad und die daraus resultierende Beschleunigung auf Partikel verschiedener Größenklassen mit Bildung eines Wandfilms und damit auch die gewünschte Abscheidewirkung von vielen Randbedingungen abhängen (vgl. auch Abschnitt 1.3). Es ist somit im Vorfeld ein Ergebnisabgleich mit geeigneten Labor-Funktionsmustern zu empfehlen. Nach einer Reihe von DOE-basierten Tests und empirischem Anpassen von Randbedingungen und Koeffizienten steht nun ein kalibriertes numerisches Berechnungsverfahren zur Verfügung, mit dem unter Verwendung von CAD-Daten

konkreter Anwendungsfälle schnelle Optimierungszyklen realisierbar sind.

4 Zusammenfassung

Die vorgestellten Multitwister® sind ein leistungsfähiges Ölabscheidersystem zur Feinölpartikelabscheidung aus dem Blow-by-Gas und vereinen gleichzeitig Robustheit, kostenoptimales Design und hohe Anpassungsfähigkeit an verschiedenste Motorapplikationen und -zustände sowie engste Bauräume. Eine Kombination aus Groböl- und Feinölabscheidung durch Multitwister® stellt derzeit das kleinstmögliche Komplettsystem dar. Neben Labyrinth sind (Multi-) Zyklone die meistverbreitete Anwendung in der Önebelabscheidung, insbesondere bei einer Feinölabscheidung. Nachteile in Robustheit, Skalierbarkeit sowie Kosten können durch das Multitwister®-System bei gleicher Leistungsfähigkeit kompensiert werden. Ein komplettes Entwicklungsumfeld mit CFD-Simulation, kennfeldbasierten Entwicklungstools und Labor- sowie Motorenprüfständen zur Prototypenver-

fikation sind die Voraussetzung für eine erfolgreiche Gesamtsystemauslegung bei der Entwicklung neuer Systeme in der Kurbelgehäuseentlüftung.

5 Ausblick

Neue Anforderungen zur druckabhängigen Anpassung des Systems an den motorseitigen Betriebspunkt wie die Regelbarkeit der Ölabscheiderleistung sowie integrierte Notfallsysteme lassen sich durch die Zweiteiligkeit des Systems ohne großen Aufwand realisieren und sind derzeit im Prototypenstatus. Das flexible Standardkonzept des Multitwister®-Systems geht erstmals 2006 in Deutschland und den USA in Serie.

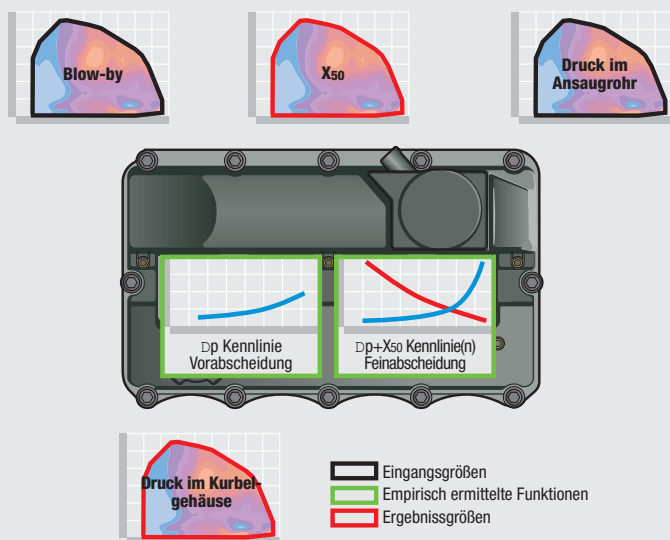


Bild 7: Betriebskennfeldbasierte Auslegung von Ölabscheidersystemen

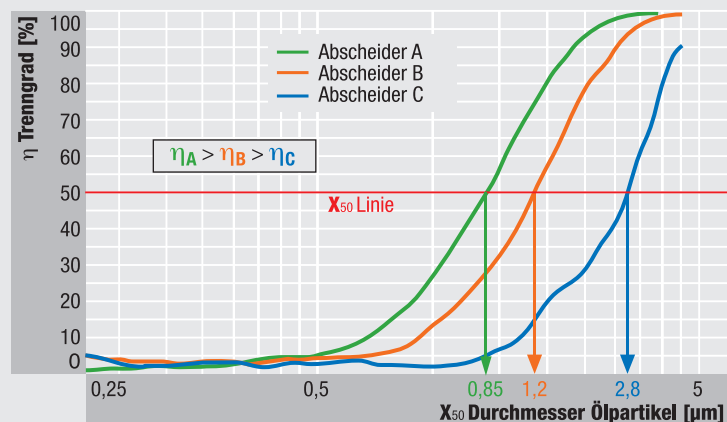


Bild 8: Spezifische Effizienzkurven unterschiedlicher Ölabscheidersysteme mit beispielhaften X50-Werten

Literaturhinweise

[1] Burkholz, A.: Droplet Separation. Weinheim: Wiley-VCH, 1989

[2] Ramachandran G., Raynor P. C., Leith, D.: Collection Efficiency and Pressure Drop for a Rotary-Flow Cyclone. In: Filtration & Separation, September/ October 1994, S.631 - 636, Elsevier Science Ltd. 1994

[3] Greif, V.: Reduzierung des Druckverlustes von Zyklonabscheidern durch Rückgewinnung der Drallenergie sowie Abscheidung bei kleinen und kleinsten Staubbeladungen. Dissertation, Fortschr. Ber. VDI-Reihe 3 Nr. 470, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1997

[4] Fiedler, H. E.: Turbulente Strömungen. Vorlesungsskript März 2003, Technische Universität Berlin, 2003

[5] Hoffmann, A. C., Stein, L. E.: Gas Cyclones and Swirl Tubes. Berlin: Springer-Verlag, 2002

[6] Anderson, j. D.: Computational Fluid Dynamics: McGraw-Hill Inc., 1995

[7] Fluent Version 6.2.16 & Gambit Version 2.2.30, Fluent Inc., Fluent User's Manual , 2005

[8] Bastias, P., et. al.: Air/Oil Separation in Cylinder Head Covers. Warrendale: SAE International, 2004

Interesse geweckt?

Ansprechpartner
Bernd Späth

+49 (0) 731-7046-242
bernd.spaeth@dana.com

REINZ-Dichtungs-GmbH

Reinzstraße 3-7

89233 Neu-Ulm

Deutschland

Tel. +49 (0) 731-70 46-0

Fax +49 (0) 731-71 90 89

www.reinz.com

