

MTZ extra



INDUSTRIE- UND GROSSMOTOREN

Zukunftssichere Kurbelgehäuseentlüftung

UT99
SMART FILTRATION



© UT99

Zukunftssichere Kurbelgehäuseentlüftung

Alternative Kraftstoffe bieten ein hohes Dekarbonisierungspotenzial, während steigende Leistungsdichten und höhere Öltemperaturen die Motoreffizienz verbessern. Diese Trends haben jedoch massive Auswirkungen auf Kurbelgehäuseentlüftungssysteme, die höheren Aerosolkonzentrationen sowie toxischen und potenziell explosiven Gasen ausgesetzt werden. UT99 ertüchtigt deshalb seine Kurbelgehäuseentlüftungssysteme hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Flexibilität.

VERFASST VON



Dipl.-Ing. Niclas Nowak
ist Leiter Forschung & Technologie
bei der UT99 AG in Andelfingen
(Schweiz).



Dipl.-Ing. Nicolai Roller
ist Leiter Entwicklung & Technik
bei der UT99 AG in Andelfingen
(Schweiz).



Dipl.-Ing. Christian Stieler
ist tätig in der Kundenentwicklung
Kurbelgehäuseentlüftung bei der
UT99 AG in Andelfingen (Schweiz).

Kurbelgehäuseentlüftungssysteme haben die Aufgabe, Öl aus dem Aerosolstrom abzutrennen und in die Ölwanne zurückzuführen. Damit leisten sie einen entscheidenden Beitrag zur Reduzierung des Ölverbrauchs und der Partikelemissionen (Particulate Matter, PM). Außerdem regulieren solche Systeme den Druck im Kurbelgehäuse, um Leckagen zu vermeiden und den Verschleiß von Dichtungen zu verringern. **BILD 1** zeigt das Schema eines geschlossenen Kurbelgehäuseentlüftungssystems (Closed Crankcase Ventilation, CCV), das im Wesentlichen aus einem Ölnebelfilter und einem Druckregler besteht.

In den letzten Jahren hat die verbesserte Filtrationseffizienz dazu geführt, dass CCV-Systeme im Vergleich zu offenen Systemen bevorzugt werden [1]. Dies gilt insbesondere bei Motoren mit gasförmigen Kraftstoffen, da sie dort nicht nur eine weitere Verringerung der Schadstoffemissionen ermöglichen, sondern durch Rückführung von unverbranntem Kraftstoff in den Brennraum auch die Energieeffizienz erhöhen. Solche Systeme erfordern sehr hohe Abscheidegrade von > 99,5 Gew.-%, um Verschmutzungen im Ansaugtrakt zu vermeiden und einen zuverlässigen Betrieb des Turboladers zu gewährleisten.

Aus der Literatur [2] ist bekannt, dass bei Motoren die Öltemperatur, der effektive Mitteldruck und die Leistungsdichte generell ansteigen. Diese Trends führen zu einer Zunahme der Aerosolkonzentration im Kurbelgehäuse und zu einer Veränderung der Partikelgrößenverteilung in Richtung der besonders schwer abzuscheidenden Partikel (Most Penetrating Particle Size, MPPS) [3, 4]. MPPS sind typischerweise 0,2 bis 0,5 µm klein; diese Partikelgröße wird von einem Aerosolfilter am wenigsten effizient abgeschieden. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, werden Kurbelgehäuseentlüftungssysteme weiter optimiert. Darüber hinaus spielen sie eine immer wichtigere Rolle bei der Einhaltung der EU-, EPA- und IMO-Grenzwerte für PM-Emissionen.

ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE

Die Art des Kraftstoffs hat einen direkten Einfluss auf die Zusammensetzung des Aerosols im Kurbelgehäuse. Es ist zwar nicht möglich, die Partikelkonzentration und -größe für verschiedene Kraftstoffe zu prognostizieren, da diese in hohem

BILD 1 Schema einer geschlossenen Kurbelgehäuseentlüftung (© UT99)

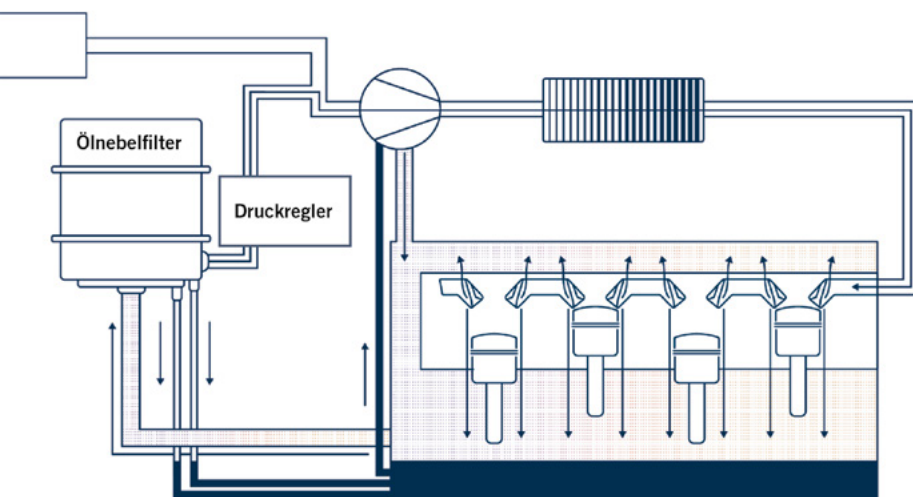




BILD 2 Ölnebelabscheider von UT99 in einem Motor, der mit 100 % Wasserstoff betrieben wird (© 2G Energy)

Maße von der Motorkonstruktion und den Öleigenschaften abhängen, aber Veränderungen in der Gasphasenzusammensetzung sind vorhersehbar. Die Hauptquellen für Kurbelgehäusegase sind die Gase, die an den Kolbenringen und dem Lager des Turboladers vorbeiströmen. Diese Blow-by-Gase enthalten Anteile von Kraftstoff, Frischluft, Öldampf und Verbrennungsprodukten.

Motoren, die mit Methanol und Ammoniak betrieben werden, erzeugen im Kurbelgehäuse Aerosole mit hoher Toxizität. Um zu verhindern, dass diese Gase ohne katalytische Behandlung in die Umwelt gelangen, sind CCV-Systeme unerlässlich. Sie sollten eine zuverlässige und präzise Regelung des Kurbelgehäusedrucks gewährleisten, indem sie den Druck typischerweise bei -1 bis -5 mbar unter dem atmosphärischen Niveau halten. In einigen Fällen kann dazu ein Zusatzgebläse erforderlich sein, insbesondere, wenn die Kurbelgehäusegase in den Abgasstrang und nicht in den Ansaugtrakt zurückgeführt werden sollen, da hier der Abgasgegendruck überwunden werden muss. Durch dieses Vorgehen wird Korrosion im Ansaugtrakt vermieden, die besonders bei Ammoniak auftreten kann.

Bei wasserstoffbetriebenen Motoren ist es möglich, dass die untere Explosionsgrenze von 4 Vol.-% H_2 überschritten wird. Daher kann ein Belüftungssystem mit einem Gebläse erforderlich sein, um das Kurbelgehäuse mit gefilterter Luft zu spülen. Zusätzlich verringern ATEX (Atmosphères Explosibles)-konforme Komponenten das Explosionsri-

siko weiter. Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus der Verbrennung von Wasserstoff, bei der große Mengen an Wasser entstehen, das beispielsweise durch Isolierungen in der Gasphase gehalten werden muss. Andernfalls würde sich die Ölqualität verschlechtern und es könnten sich Emulsionen bilden, die den Filter blockieren. **BILD 2** zeigt einen mit 100 % Wasserstoff betriebenen Motor der mit einem isolierten UT99-Filter ausgestattet ist.

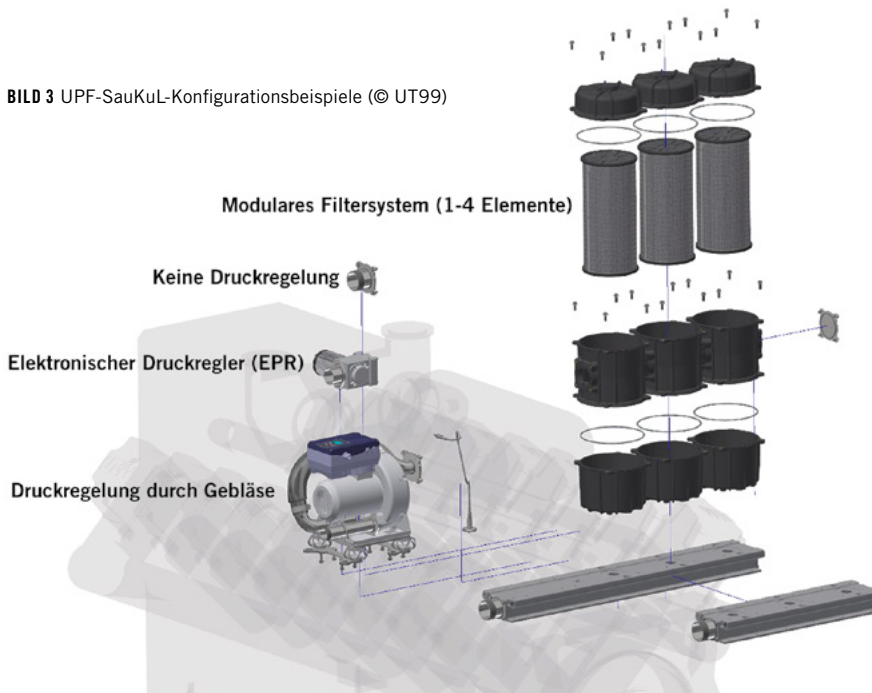
KURBELGEHÄUSE-ENTLÜFTUNGSSYSTEME

Die Kompatibilität von UT99-Filterssystemen mit alternativen Kraftstoffen wird durch geeignete Materialien wie Glasfa-

sern, Edelstahl, Aluminium und PA66-GF50 sichergestellt. Ein zuverlässiger Betrieb wird durch ein Hochleistungs-Filtermedium gewährleistet, das sich durch einen stabilen Druckabfall < 20 mbar und einen Abscheidegrad $> 99,5$ % auszeichnet, was einer Restaerosolkonzentration von typischerweise < 5 mg/m³ entspricht. Durch Änderung der Medienzusammensetzung sind andere Eigenschaften applizierbar, um Druckverluste < 10 mbar und/oder Reingasaerosolkonzentrationen < 1 mg/m³ zu ermöglichen.

Bei der Entwicklung der Filterserie UPF-SauKuL (Under-Pressure-Filter-Saubere-Kurbelgehäuse-Lösung) stand Modularität im Vordergrund, um eine maximale Flexibilität zu ermöglichen, **BILD 3**. So sind die Filter verschieden platzierbar, um den Platzbedarf zu minimieren und eine optimale Leistung sowie niedrige Kosten für Motorreihen mit unterschiedlichen Zylinder-/Leistungskonfigurationen zu gewährleisten. Außerdem kann das System mit einem Zusatzgebläse oder einem elektronischen Druckregler (Electronic Pressure Regulator, EPR) ausgestattet werden, der den Kurbelgehäusedruck regelt und ein Spülluftsystem ermöglicht. Zusätzlich können Drucksensoren und ein Blow-by-Durchflussmesser installiert werden. Diese Optionen generieren Daten und unterstützen smarte Funktionen wie Überwachung, Diagnose und vorausschauende Wartung. Auf diese Weise sind nicht nur Informationen über den Zustand des Kurbelgehäuseentlüftungssystems verfügbar, sondern auch über den Motorverschleiß,

BILD 3 UPF-SauKuL-Konfigurationsbeispiele (© UT99)



der durch die Analyse der Blow-by-Durchflussmenge ermittelt werden kann.

Zusammenfassend lassen sich die Vorteile der UT99-Kurbelgehäuseentlüftungssysteme wie folgt beschreiben:

- geeignet für alternative Kraftstoffe in einem breiten Anwendungsbereich von 250 bis 46.000 kW
- hohe Filtrationsleistung mit einem Gesamtabscheidegrad > 99,5 %, Druckabfall < 20 mbar und bis zu 32.000 h wartungsfreiem Betrieb
- präzise Kurbelgehäusedruckregelung innerhalb ± 1 mbar vom Sollwert durch ein Gebläse oder einen elektronischen Druckregler
- zusätzliche Vorteile durch digitale Statusberichte des Kurbelgehäuseentlüftungssystems und Blow-by-Durchflussdaten.

FILTRATION VON AEROSOL

Detaillierte Kenntnisse über die Eigenschaften des Kurbelgehäuse-Aerosols sind die Grundlage für die Entwicklung eines Aerosolfilters. Öltropfen im Blow-by-Strom haben bekanntlich eine sehr breite Größenverteilung, die von einigen zehn Nanometern bis zu Hunderten Mikrometern reicht [5]. Die typische Gesamtkonzentration im Kurbelgehäuse liegt bei etwa 1000 mg/m³. In der Praxis wurden jedoch Konzentrationen zwischen 300 und mehr als 2000 mg/m³ beobachtet. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Aerosolraten aus der tatsächlichen Anwendung heranzuziehen, um die Filtereigenschaften optimal anzupassen.

UT99-Filter werden auf Prüfständen unter variablen Aerosoleigenschaften entwickelt, um eine belastbare Aussage über die Filtrationseigenschaften zu ermöglichen. **BILD 4** beschreibt die Leistung eines Filters der Baureihe UPF-Sau-KuL, der bei 80 °C, 500 l/min und einer Rohaerosolkonzentration von 900 mg/m³ betrieben wird. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aerosolkonzentration im Reingas stets < 1 mg/m³ und der Druckabfall < 14 mbar beträgt. Nach etwa 50 h Aerosolbelastung wird ein „Steady-state“ erreicht. Das bedeutet, dass kein zusätzliches Öl im Filter angesammelt wird. In der Praxis ist es ein pseudo-stabiler Zustand, da Asche, Ruß und zähflüssige organische Bestandteile die Permeabilität des Filters verringern. Diese Prozesse müssen berücksichtigt

EPR-CCV ELEKTRONISCHER DRUCKREGLER

FÜR GESCHLOSSENE
KURBELGEHÄUSEENTLÜFTUNG

**WELT
PREMIERE**



Vorteile durch optimale Druckverhältnisse im Kurbelgehäuse des Motors

- Keine Leckage von Ölnebel in die Umgebung.
- Keine Verunreinigung des Schmieröls durch angesaugten Staub sowie reduzierter Verschleiß von Lagern und Wellendichtringen.
- Erhöhte Lebensdauer des Ölnebelfilters.

Intelligente Funktionen

- Ausfallsicher, auch bei Stromausfall.
- CANopen®-Bus-Schnittstelle zur Motorüberwachung, Wartung und Diagnose.
- Vorbereitet für IoT- und Cloud-Analyseplattformen.
- FlowSpin (optional) ermöglicht eine erweiterte Motor- und Ölnebelfilterdiagnose.



werden, um die Zeit zwischen den Filterwechseln zu bestimmen.

DRUCKREGELUNG UND BLOW-BY-DURCHFLUSSMESSUNG

UT99 bietet seit Langem offene Kurbelgehäuseentlüftungen (Open Crankcase Ventilation, OCV) an, die den Kurbelgehäusedruck mit einem Gebläse regeln. Dabei wird das Kurbelgehäusedrucksignal genutzt, um die Gebläsedrehzahl zu steuern. Ähnliche Systeme werden auch für CCV eingesetzt, die zusätzlich den Ansaugluftunterdruck des Turbo-laders berücksichtigen.

Für Anwendungen, die kein Gebläse benötigen, hat UT99 den EPR eingeführt. Der EPR ist eine wartungsfreie mechanische Drossel, die den Kurbelgehäusedruck innerhalb von ± 1 mbar des Sollwerts regelt. Das Gerät wird im Entlüftungspfad zwischen dem Ölnebelabscheider und dem Ansaugtrakt platziert. Während die äußeren Abmessungen immer gleich bleiben, kann für die Geometrie des Drosselkörpers eine von fünf Varianten zwischen DN14 und DN50 gewählt werden. Dies ermöglicht eine gute Druckregelungsgenauigkeit für einen breiten Bereich von Strömungs- und Druckverhältnissen [5]. Der Drosselklappenwinkel wird elektronisch mithilfe des Kurbelgehäuse-Drucksignals gesteuert, das direkt von einem Sensor oder von der Motorsteuerung bereitgestellt wird. Zusätzlich unterstützte Funktionen sind beispielsweise die Meldung des EPR-Status per CAN-Bus und die Überwachung des Blow-by-Durchflusses durch einen optionalen Durchflussmesser, der direkt an das EPR angeschlossen ist, **BILD 5**.

Der Blow-by-Durchflussmesser von UT99 ist auch als Stand-Alone-Version mit zwei Laufradgeometrien und einem Messbereich von 150 bis 2500 l/min erhältlich. Derzeit wird dieses Gerät in Feldversuchen erprobt. **BILD 6** zeigt Ergebnisse dieser Tests, die sich auf den Zusammenhang der Drehzahl des Durchflussmessers mit der Blow-by-Durchflussmenge konzentrieren, die mit einem Referenzgerät ermittelt wurde. Offensichtlich ist die Messgenauigkeit selbst nach mehreren Tausend Betriebsstunden stabil.

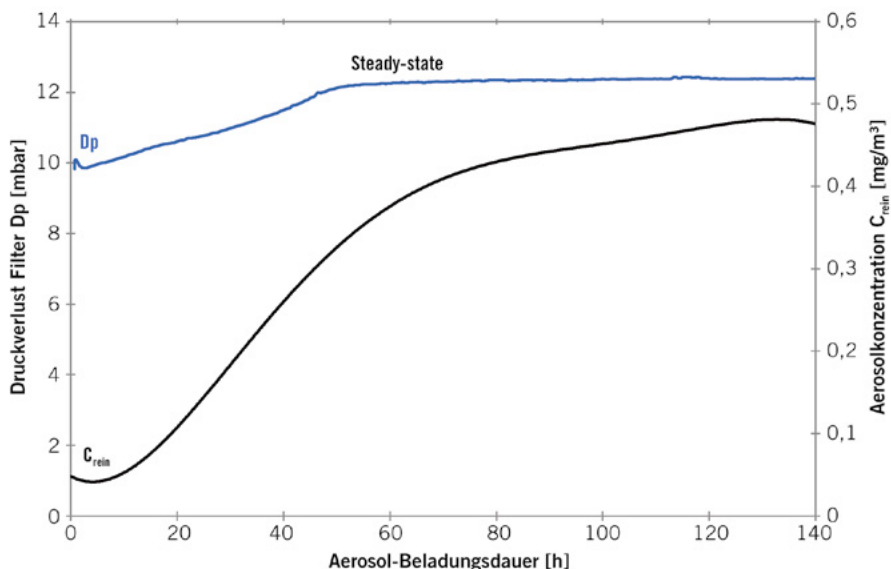


BILD 4 Druckverlust und Aerosolkonzentration im Reingas (© UT99)

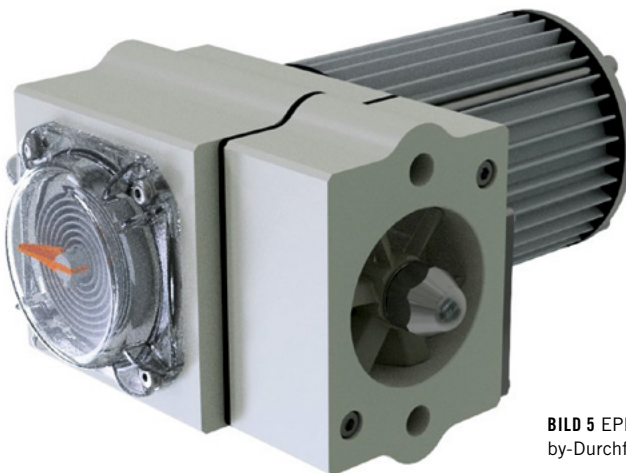


BILD 5 EPR mit optionalem Blow-by-Durchflussmesser (© UT99)

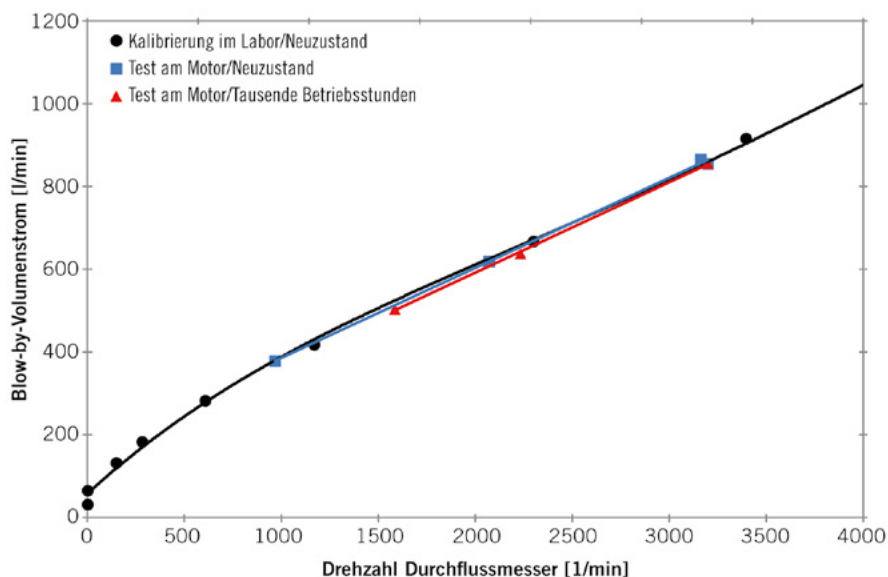


BILD 6 Blow-by-Volumenstrom im Verhältnis zur Drehzahl des Durchflussmessers (© UT99)

FAZIT

Kurbelgehäuseentlüftungssysteme rücken durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe, eine hohe geforderte Abscheideleistung und gesetzliche Rahmenbedingungen zunehmend in den Fokus. UT99 begegnet diesen Herausforderungen mit Lösungen für die Kurbelgehäuseentlüftung, die kompatibel, hocheffizient (> 99,5 %) und flexibel sind. Das Produktportfolio umfasst unter anderem die Kurbelgehäusedruckregelung durch ein Gebläse oder einen EPR, die digitalen Daten über den Status des Entlüftungssystems liefern. Wertvolle Daten generiert auch der Blow-by-Durchflussmesser, der nicht nur für die Zustandsbeurteilung von Filterelementen, sondern auch für die Analyse des Motorverschleißes genutzt werden kann. Mit diesem anpassbaren Entlüftungssystem und weiteren Entwicklungen in enger Zusammenarbeit mit OEMs sind Lösungen darstellbar, die den Anforderungen der jeweiligen Anwendung gerecht werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Oppliger, R.; Stieler, C.: Vorteile der geschlossenen Kurbelgehäuseentlüftung für Großmotoren. In: MTZ 81 (2020), Nr. 11, S. 66-71
- [2] Figer, G.; Schmidleitner, K.; Schönbacher, M.; et al.: 300 bar Spitzendruck für eine neue Generation von Diesel- und Gasmotoren. In: MTZ 80 (2019), Nr. 6, S. 70-75
- [3] Scheiber, K.; Nowak, N.; Lorenz, M.; et al.: Comparison of four diesel engines with regard to blow-by aerosol properties as a basis for reduction strategies based on engine design and operation. In: Automotive and Engine Technology 6/2021, S. 79-90
- [4] Nowak, N.; Sinn, T.; Scheiber, K.; et al.: On aerosol formation by condensation of oil vapor in the crankcase of combustion engines. In: Aerosol Science and Technology 2/2022, S. 101-116
- [5] Nowak, N.; Sirtl, C.; Rymann, O.; et al.: Aerosol Separation and Pressure Control of a Smart Crankcase Ventilation System. In: Proceedings of the ASME 2022 ICE Forward Conference, Indianapolis, 2022

IMPRESSUM:

Sonderausgabe 2023 in Kooperation mit UT99 AG,
 Schaubenstrasse 5, 8450 Andelfingen;
 Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH,
 Postfach 1546, 65173 Wiesbaden,
 Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE81148419

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabus

TITELBILD: © Bertold Werkmann | Stock.adobe.com

MTZ extra

HOCHEFFIZIENTE ÖLNEBELABSCHIEDER PLATTFORM

FÜR VERBRENNUNGSMOTOREN
BIS 4000 KW



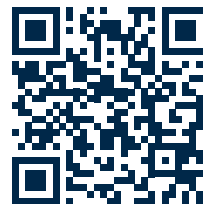
Vorteile

- skalierbare Plattform
- flexible Montage auf dem Motor
- robust und servicefreundlich
- konfigurierbare Schnittstellen
- integrierter Ölablauf
- kompakte Einheit
- geringer Druckabfall

RESIDUAL OIL CONTENT
AFTER FILTRATION
<1mg/m³

Merkmale

- für Motoren bis 4000kW
- für offene (OCV) und geschlossene (CCV) Kurbelgehäuseentlüftungssysteme
- für Genset, Marine und Off-Highway Anwendungen bei Gas, Dual-Fuel und Diesel Motoren
- für Anwendungen mit Ammoniak, Methanol und Wasserstoff als Kraftstoff geeignet



Wechseln Sie zu CCV und profitieren Sie von den Vorteilen einer sauberen Kurbelgehäuseentlüftung

MARKTFÜHRER MIT LEIDENSCHAFT FÜR PERFEKTION UND UMWELTSCHUTZ



www.ut99.com

UT99 AG

Schaubenstrasse 5
8450 Andelfingen
Switzerland

UT99
SMART FILTRATION