

# 3. Worauf bei Wartungsarbeiten zu achten ist

Dipl.-Ing. Michael Wentzke  
IG Biogasmotoren e.V.

# Agenda

1. Instandhaltungskonzept und Betriebsweise des BHKWs
2. Überwachung der relevanten Motordaten
3. Wartung der Motorkomponenten (Zündkerzen, Zylinderköpfe, Schmieröl, Kühlmittel, Dämpfungselemente, Luft-, Öl- und UPF-Filter,..)
4. Wartung der Motoren-Peripherie: Wärmetauscher, Notkühler, Abgaswärmetauscher, Gasgebläse, Raumluftfilter, Zuluft- und Abluftgebläse, Biogasaufbereitung, Gaswarneinrichtung, Schaltschrankklimatisierung
5. Generatorwartung

# 1. Instandhaltungskonzept und Betriebsweise des BHKWs

- In der Praxis werden sehr unterschiedliche Instandhaltungskonzepte gefahren:
  - Der Selbstmacher : für kleinere Aggregate mit einfachem Aufbau bis auf Grundüberholung mit ausreichendem Know-How
  - Aufgabenaufteilung zwischen Betreiber und Servicepartner : einfache Servicearbeiten für Anlagenbetreiber und ab Komponentenprüfung nach Serviceplan Einsatz des Servicepartners
  - Full-Service-Wartungsvertrag (open-calculation- oder closed-end-Abrechnung) mit möglicher (und sinnvoller) Übernahme einfacher Wartungsarbeiten durch Anlagenbetreiber



# 1. Instandhaltungskonzept und Betriebsweise des BHKWs

## Open – Calculation (Offene Abrechnung)

- Ist-Kosten-Beauftragung
- Personaleinsatz nach Stunden
- Ersatzteile und Verbrauchsmaterial nach Werksvorgabe
- Ist-Kostenabrechnung
- Kostenrisiko trägt Kunde

## Closed - End (Geschlossene Abrechnung)

- Vereinbarung von Fahrplänen und jährlicher Betriebsstunden (Grundlast oder Flex)
- Zahlung einer monatlich vereinbarten Servicerate
- Vereinbarte jährliche Steigerungsraten für Material und Personal und ggfls. Prüfungen
- Risikoübernahme durch Servicepartner



## 2. Überwachung der relevanten Motordaten

- „Brennraumdaten“ : Brennraum-, Zylinderkopf- oder Abgastemperatur, Zündkerzen- Spannung und –Brenndauer, Kompression, Ölverbrauch, Kurbelgehäusedruck, Schmieröldruck und -Temperatur
- „Gemischdaten“: Methangehalt, H<sub>2</sub>S-Gehalt,
- Filterzustände: Ansaugluftfilter, Schmierölfilter, Raumluftfilter, Ölnebeldampfabscheider (UPF-Filter)
- Reinigung Notkühler (luft- und wasserseitig), Gemischkühler, Schmierölkühler nach Auswertung der Öltemperaturen, AWT
- Temperaturen : Gemischtemperatur nach Gemischkühler, Motorkühlkreislauf Vor- und Rücklauftemperatur, Temperatur vor und nach Abgaswärmetauscher



### 3. Wartung der Motorkomponenten (Zündkerzen, Zylinderköpfe, Schmieröl, Kühlmittel, Dämpfungselemente, Luft-, Öl- und UPF-Filter,..)

Zündkerzen hoch belastet durch zündunwilliges Gemisch:

- hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt,
- hoher Luftüberschuss (Lambda ca. 1,7)
- Hoher Spannungsbedarf (>30.000 Volt) bis zum Funkenüberschlag
- Gefahr des „Ausgeblasen-Werdens“ durch Gemischführung im Brennraum und Kolbenboden
- Lange Brenndauer für ausreichend Zündenergie notwendig

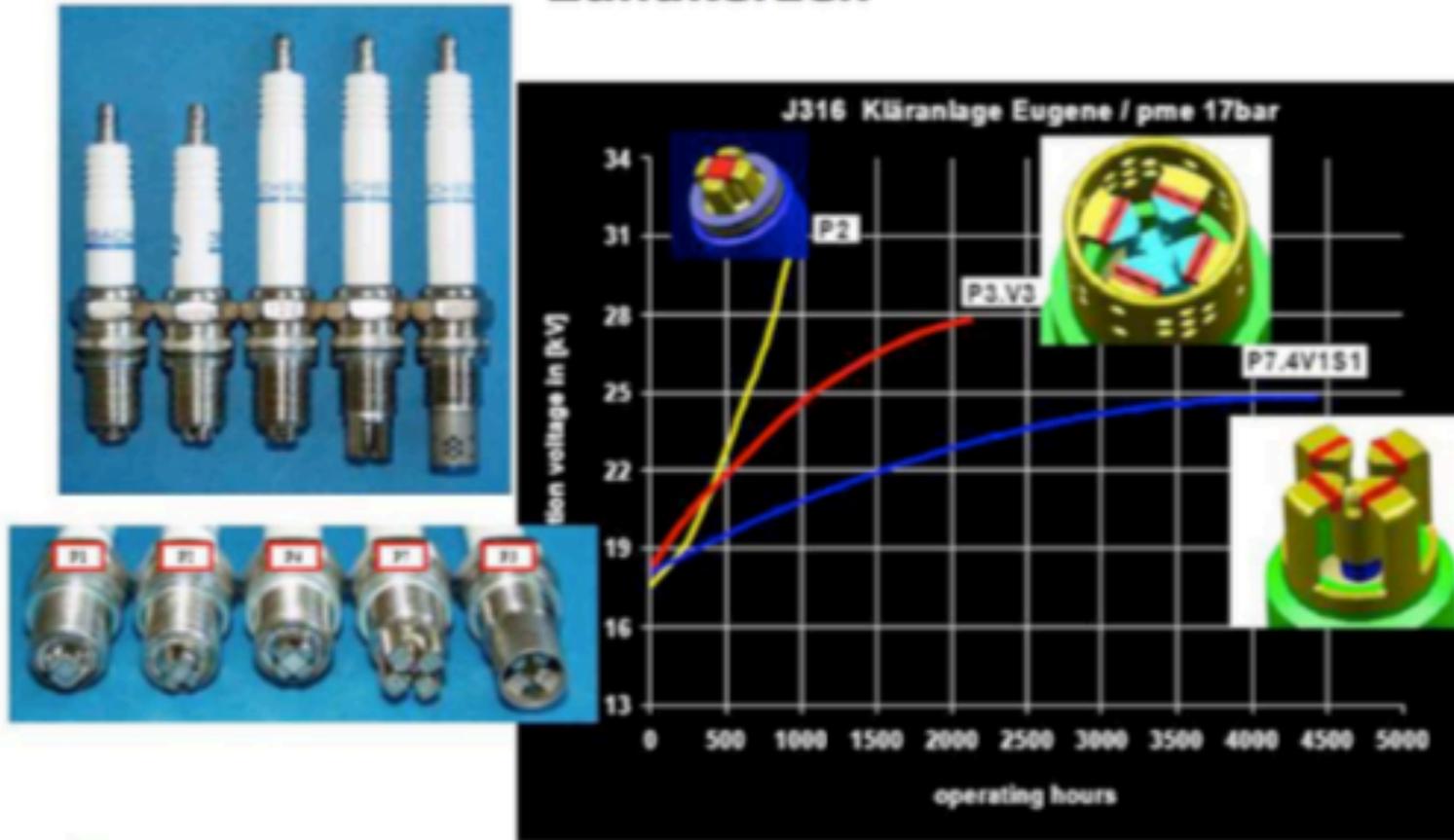
Konsequenz: Elektrodenabbrand hoch, Wärmebelastung durch schlechte Wärmeableitung (Anzugsmoment) hoch

# Zündkerzenpflege

- Peinlich genaue Einhaltung der Anzugsvorschriften inkl. Nachziehen mit kalibrierten Drehmomentschlüsseln
- Beachtung der Verschleißmaße in der Motorsteuerung (Gemessene Aufladezeit für Kondensatoren, entspricht Höhe der Zündspannung)
- Je nach Motorentyp Einsatz von Vorkammer-Zündkerzen, freie Schusskanäle notwendig
- Kein Ersatz von teuren Vorkammer-Zündkerzen durch einfache Haken-Zündkerzen



# Zündkerzen



25/  
GE Jenbacher / Thomas Eberbrunn  
20.12.2008

# Zündkabel

- Sorgfältige Verlegung
- Absicherung gegen starke Schwingungen
- Schutz gegen Scheuerstellen an heißen Motorbauteilen
- Reduktion der Zündspannung durch Übergangswiderstände

# Zylinderköpfe – Temperaturwechsel und hohe Zünddrücke

- Hauptbelastung : Hineinwandern des Ventilsitzes in den Zylinderkopf mit Verringerung des Ventilspiels (Ventilrückstandsmaß wird zu groß)
- Problematisch: in der Lieferkette befinden sich häufig unterschiedliche Materialien (Gußqualität), die zu unterschiedlich rasantem Verschleiß führen
- Ventilkegel werden durch heiße Ablagerungen im Brennraum belastet: Auslassventile sind besonders gefährdet, Loch am Ventilsitz mit starker Undichtigkeit und Verlust der Kompression



# Überprüfung der Zylinderköpfe

- Regelmäßige Messung des Ventilrückstandsmaßes zeigt Entwicklung des Verschleißvorrates und gibt Hinweis zum Austausch
- Beurteilung etwaiger Brennraum-Ablagerungen des Zylinderkopfes
- Quelle: Schmieröl verbrannt – Ölkohleaufbau, vermehrt auf Kolbenboden (Ölverbrauch beachten)
- Quelle: Gemischbestandteil z.B. Siloxane oder unverbrauchte Sulfatasche: helle Ablagerungen

# Wirkung von Siloxanen im Brennraum eines Biogasmotors nach Oxidation zu Quarz



Quelle: Caterpillar Energy Solutions



# Schmierölanalyse

- Eine Schmierölanalyse zählt nicht, erst die Beurteilung im Zeitablauf gibt valide Aussagen
- Nach der Grundüberholung des Motors durchläuft metallischer Abrieb erneut die „Badewannen-Kurve“
- Gruppierung der analysierten Stoffe nach Verschleißabrieb, Verschmutzungen und PH-Werten (Beispiel einer Analyse)
- Kommentierung und relative Einordnung der Werte sind Motoren- und Schmieröl-spezifisch



## Diagnose der aktuellen Laborwerte

Die Verschleißmetalle haben sich seit der letzten Analyse kaum verändert. Die Basenzahl BN (Indikator für die alkalische Reserve) ist im Vergleich zum Frischöl gesunken. Das Öl kann deshalb weniger Säuren aus dem Verbrennungsprozess neutralisieren. Der i-pH-Wert ist durch freie Säuren aus dem Verbrennungsgas gesunken. Ich rate Ihnen: Senden Sie nach weiteren 200 Bh erneut eine Ölprobe zur weiteren Trendbeobachtung an das Labor oder wechseln Sie nach dieser Zeit das Öl.

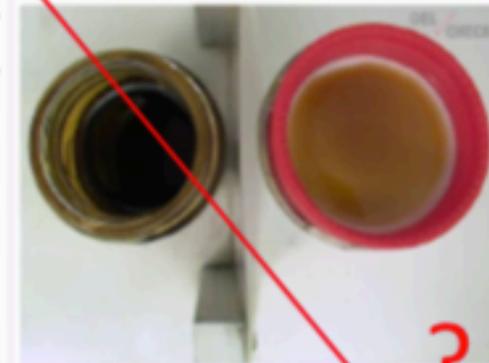
## Gesamtbewertung



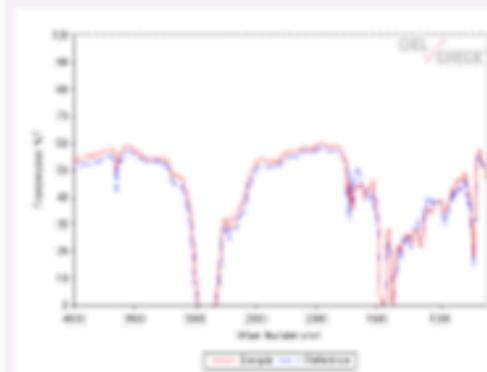
## Hinweis

ANALYSENERGEBNISSE			Aktuelle Probe	Frühere Untersuchungen		
LABORNUMMER			1484924	2017680	2017682	2017679
GESAMTBEWERTUNG			?	?	✓	✓
Untersuchungsdatum			23.11.2011	09.11.2011	26.10.2011	29.09.2011
Datum Probenentnahme			20.11.2011	07.11.2011	25.10.2011	27.09.2011
Datum letzter Ölwechsel			-	-	-	-
Nachfüllmenge seit Wechsel	l		20	-	-	-
Laufzeit seit Wechsel	h		1418	-	-	250
Laufzeit gesamt	h		1418	1117	830	250
H2S-Gehalt	ppm		119	-	-	63
Öl gewechselt			Nein	Nein	-	-
VERSCHLEIß						
Eisen	Fe	mg/kg	5	5	5	4
Chrom	Cr	mg/kg	0	0	0	0
Zinn	Sn	mg/kg	0	0	0	0
Aluminium	Al	mg/kg	2	2	2	2
Nickel	Ni	mg/kg	0	0	0	0
Kupfer	Cu	mg/kg	10	10	9	7
Blei	Pb	mg/kg	0	0	0	0
Molybdän	Mo	mg/kg	1	0	0	0
PQ-Index			OK	OK	OK	OK
VERUNREINIGUNG						
Silizium	Si	mg/kg	1	2	2	2
Kalium	K	mg/kg	0	1	0	1
Natrium	Na	mg/kg	2	2	1	0
Wolfram	W	mg/kg	-	-	-	1
Wasser	%		< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
IR-Glykol	-		negativ	negativ	negativ	negativ

## Probe und Deckel



## Infrarot-Spektrum



# Schmierölanalysen müssen vor dem Hintergrund der Motorenhersteller-Vorschriften interpretiert werden

ÖLZUSTAND						
Viskosität bei 40°C	mm <sup>2</sup> /s	130.38	125.96	124.95	121.68	
Viskosität bei 100°C	mm <sup>2</sup> /s	13.95	13.89	13.62	13.31	
Viskositätsindex	-	104	108	105	104	
Oxidation	A/cm	8	6	4	1	
Nitration	A/cm	1	1	1	0	
Sulfation	A/cm	0	0	0	0	
ADDITIVE						
Kalzium	Ca	mg/kg	1436	1464	1409	1362
Magnesium	Mg	mg/kg	2	3	4	8
Bor	B	mg/kg	73	76	81	89
Zink	Zn	mg/kg	355	354	342	332
Phosphor	P	mg/kg	279	292	278	278
Barium	Ba	mg/kg	0	0	0	0
Schwefel	S	mg/kg	2847	3001	2893	2843
ZUSATZTESTE						
BN	mgKOH/g	3.80	4.26	4.69	5.55	
AN	mgKOH/g	2.22	1.89	1.73	1.38	
I-pH-Wert	-	4.29	4.63	5.14	5.82	

**Grenzwert MWM > 4,5 !!!**

**hier müsste ne' Ölwechselempfehlung kommen ! Der Kunde gefährdet seine Gewährleistungsansprüche !**

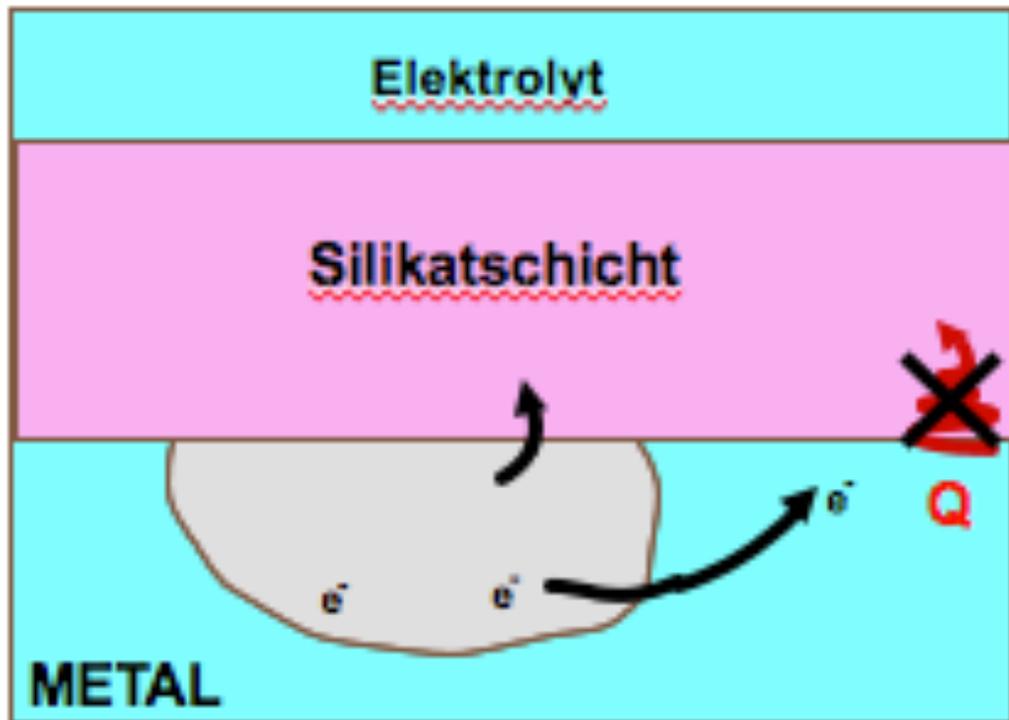
Quelle: Addinol

# Kühlmittel (Kühlmittelanalyse)

- Kühlmittel verbraucht sich durch thermische Beanspruchung und ist keine Lebensdauer-Füllung
- Kühlmittel hat Wärmeübertragungs-, Korrosionsschutz-, Frostschutz- und Schmutzinhibitoren-Funktion
- Überlastung durch zu geringen Kühlmitteldruck (Dampfblasenbildung, lokale Überhitzung, chemische Reaktion zu sauren Spaltprodukten und Kavitation an Stellen lokaler Überhitzung)
- Austausch bei Schmieröl-Kontamination, größeren Motoreninstandsetzungen
- Kühlmittelanalyse zeigt gebrauchsfähigen Zustand präzise an, erster Indikator Verfärbung (dunkel) und Geruch (stechend) an



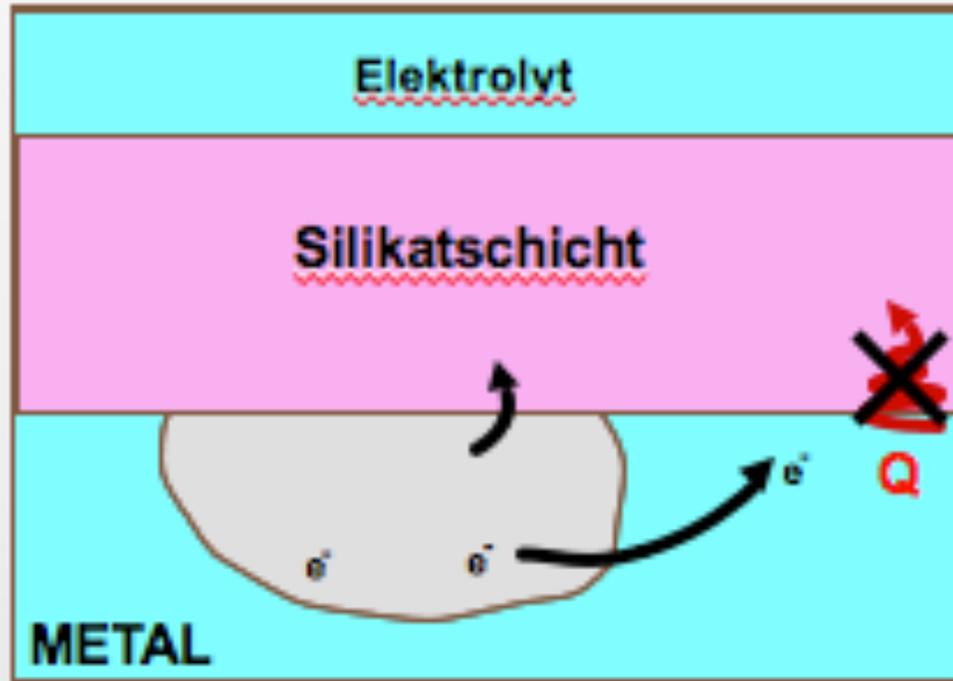
# Silikathaltige Kühlmittel



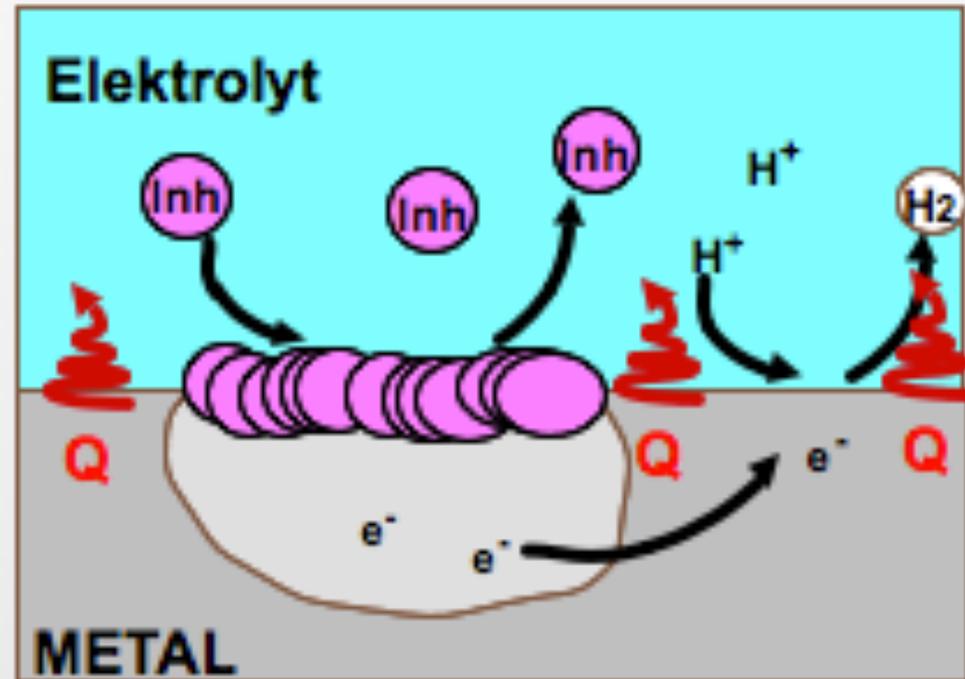
Quelle: Chevron DDeutschland



## Traditional



## Moderne Silikatfrei



Quelle: Chevron DEutschland



# Dämpfungselemente

- Korrekte Montage und Einstellung sichert erst Funktion:
  - Nicht „auf Block“ setzen : starre Verbindung führt rasch zu Brüchen
  - Motor muss frei schwingen können und sich bewegen lassen, Hemmnis oft auch verspannt eingebaute Kompensatoren
  - Höheneinstellung – sofern vorhanden – beachten
- Gummi-Stahl-Kombination ist ein Verschleißteil; da der Gummiblock ermüdet und die Dämpfungswirkung nachlässt
- Austausch spätestens nach vier Jahren (Grundlastbetrieb)
- Überprüfung nur mit Schwingungsmessung



# Ansaugluftfilter und Raumluftfilter

- Staubbelastung in landwirtschaftlich geprägter Umgebung hoch, Verschleißgefahr für Laufbuchsen
- Raumluftfilter fehlen oft völlig, Geräuschkulisse filtert nicht..
  - Vorschnelle Erschöpfung des Ansaugluftfilters (Feinfilter!)
  - Generator verschmutzt stark: Wicklung setzen sich mit Schmutz zu und verringern Kühleffekte der Anströmung, eingetragene Feuchtigkeit führt zu Wicklungsrost mit Totalschadengefahr (Generator-Stillstandsheizung)
- Verschmutzter Raumluftfilter erhöht Strombedarf der Frischluftgebläse und senkt die Durchströmung: Überhitzung und Unterdruck im Betriebsraum..

# Schmieröl- und UPF-Filter

- Schmieröl: thermische Entlastung durch Ölkühler, Ölfilterung nimmt Abriebmetalle und Schmutzteilchen (Ablagerungen,..) auf
- Vorsicht bei Billig-Ölfilterpatronen: Filtermaterial löst sich oft vorzeitig auf und droht Schmierölkanäle zuzusetzen neben schlechter Filterleistung
- Schmierölkühler setzt sich mit der Zeit zu, Reinigung nach ca. 30.000 Bh zu empfehlen, um Kühlleistung wiederherzustellen.



# Schmieröl- und UPF-Filter

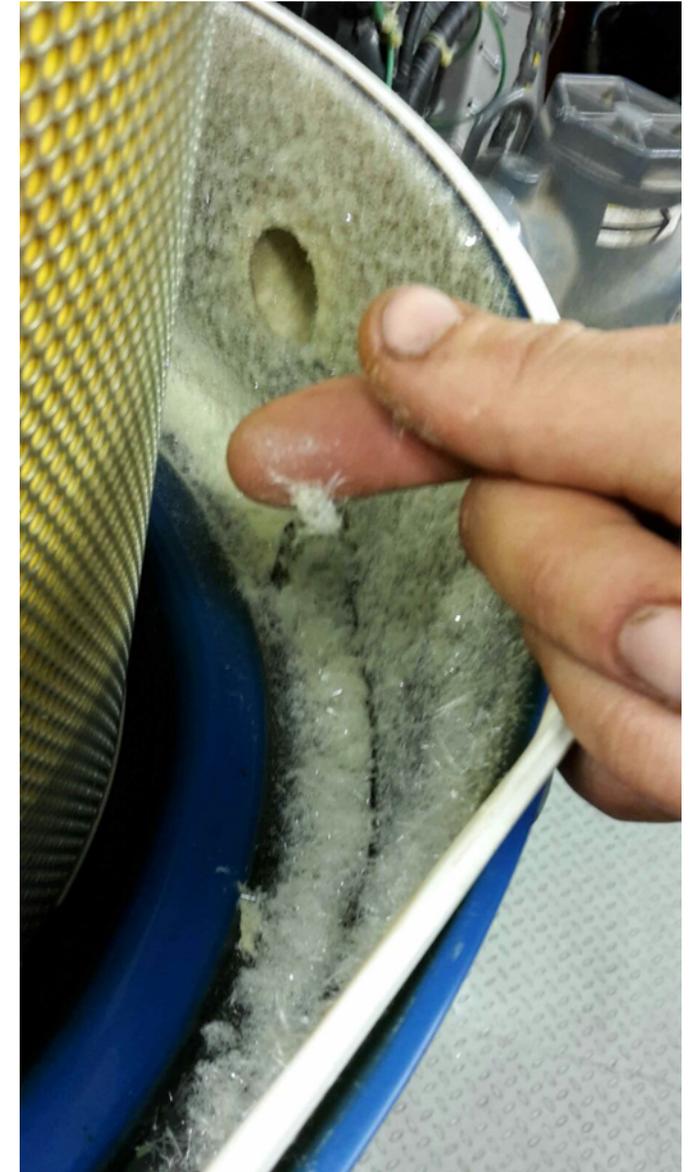
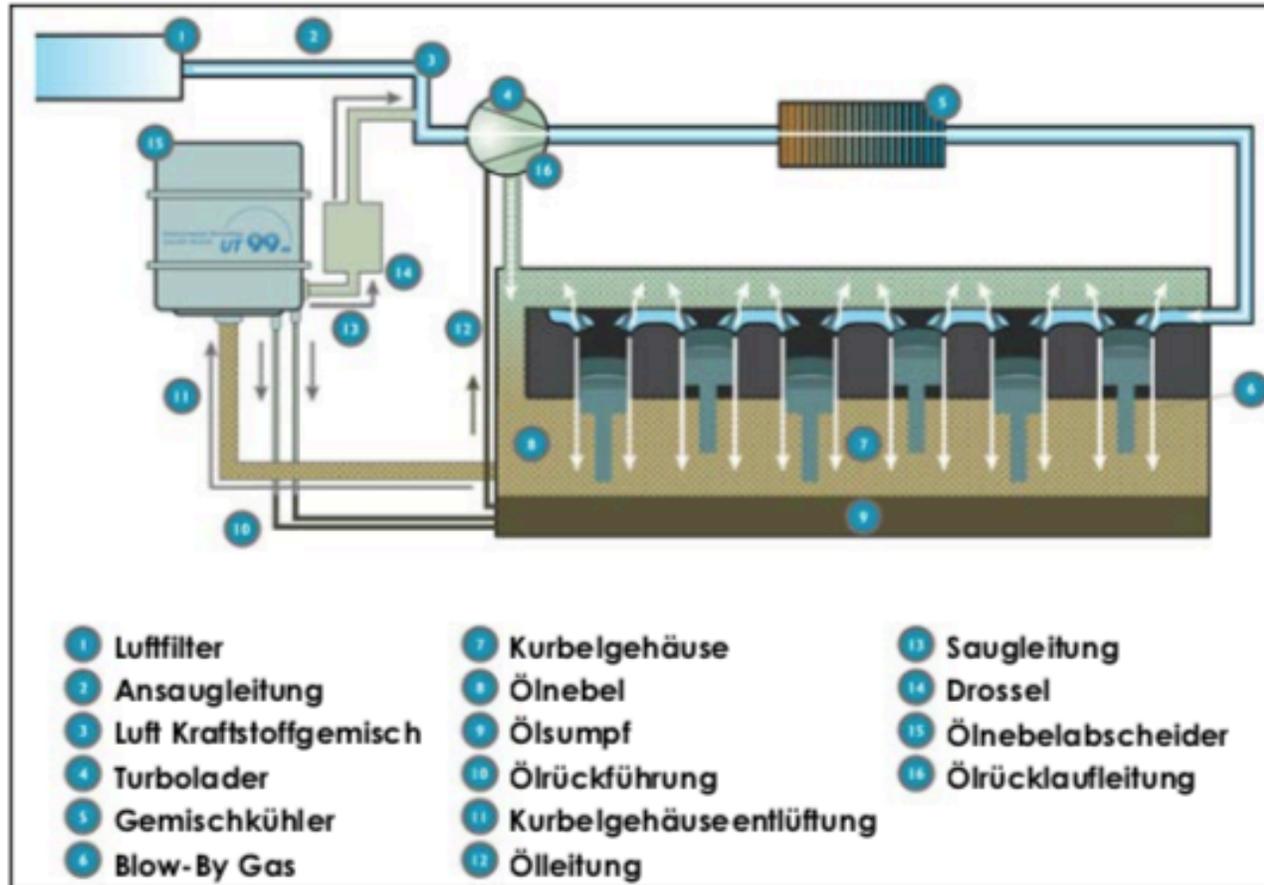
Ölnebdampf-Abscheidung ist die Lebensversicherung gegen „Motorklopfen“. Zwei Verfahren in der Praxis :

- Schleuderfilter mit schlechter Filterleistung oder
- zweistufiger UPF-Filter mit optimaler-Filterleistung

Ohne Ölnebdampfabscheidung : Ölnebel wirken wie ein Brandbeschleuniger mit sehr hohen Temperaturen und Drücken, hoher Verschleiß von Lagern und Laufbuchsen bis zum Anschmelzen von Kolbenböden mit Kolbenfresser



# UPF Filter



Quelle: UT99 AG

Abb. 4.2-1: Schematische Darstellung geschl. Kurbelgehäuseentlüftung (CCV)

## 4. Wartung der Motoren-Peripherie: Wärmetauscher, Gasgebläse, Biogasaufbereitung, Gaswarneinrichtung, Schaltschrank-Klimatisierung

Wärmetauscher: Heizwärmetauscher, Gemischkühler (1-2 stufig), Schmierölkühler, Notkühler, Abgaswärmetauscher

- Wärmetauscher verschmutzen , sowohl auf der Wasserseite als auch auf der Luftseite, Reinigung in Abständen notwendig, um Kühlleistungs- und Druckverluste im Kühlkreislauf zu begrenzen
- Auf ausreichenden Kühlmitteldruck achten (besonders bei extra geführten AWT-Kühlkreislauf, Entlüftung (Gemischkühlkreislauf), Wassermangelsicherungen und funktionsfähiges Membranausgleichsgefäß

# Wärmetauscher



Quelle: ABX Energy Services  
Ladluftkühler vor und nach der Reinigung



# Notkühler



Quelle : Caterpillar Energy Solutions.    Unterseite der Tischkühler mit „Bioteppich“ - Bewuchs

# Wärmetauscher



Quelle: ABX Energy Services:

Abgaswärmetauscher vor und nach der Reinigung

# Gasgebläse

- Gasdichtigkeit prüfen
- Kondensatablauf leeren
- Verschmutzungen und Wasser können zu Laufradblockaden führen
- Einhausung unbelüftet: Hitzeschäden, Ausfall von Dichtungen
- ATEX - Kabelverbindung



Quelle: ATEX Compressors





Quelle: ATEX Compressors  
Blockierte Verdichterräder

# Biogasaufbereitung



Quelle:: Aprovis

AktivkohlfILTERbehälter:  
Isolierung zur Kondensatvermeidung

Kälteaggregat: ca. 12°C  
Gastemperatur ausreichend zur  
Wasserabscheidung

Nacherwärmung: geregelt auf ca. 22-  
24°C für optimale Feuchte und  
Temperatur zum Eintritt in die  
Aktivkohle

Abfluss Kondensatschacht  
sicherstellen

Maximale Beladungsleistung der  
Aktivkohle: 45-55% rel. Feuchte,  
Gastemperatur s.o. und 0,6 % O<sub>2</sub>  
im Biogas

# Gaswarneinrichtung

Sicherheitstechnik im BHKW ist  
überprüfungspflichtig :  
Betreiberverantwortung, Haftung  
nicht delegierbar

Gaswarneinrichtung bedarf der  
Wartung und ggfls. der Kalibrierung

Alarmmeldekette der Prüfung:  
kommen Alarme auch an den  
richtigen Empfänger an?



Bei BHKW mit elektrischen Leistungen  $> 50$  kW kann eine ortsfeste Gaswarnanlage zur Erkennung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre und zur Auslösung von automatischen Schutzmaßnahmen und Notfunktionen eingesetzt werden.

Quelle: BG ETEM



# Schaltschrank-Klimatisierung

- Im Sommer zu heiß im Winter zu kalt : Ausfall der elektronischen Bauelemente, Bildung von Kondensat mit Korrosion an den Kontakten (Übergangswiderstände)
- Durchlüftung beachten, einfache Klimageräte reichen zur Temperierung aus, Schutz vor Nagern an den Kabelaustritten beachten
- Thermographie entlarvt Hotspots an überlasteten Bauteilen
- Kabelbahnen nicht überlasten: Kabelerwärmung und EMV-Störungen

# Kabelführung der SMR-Technik



Quelle: 8.2 Consulting AG  
Fehlfunktionen der Sensoren und Brandgefahr in den  
Kabelschächten sind zu befürchten



# 5. Generatorwartung

- Lager (kein Fett, falsches Fett, zu viel Fett)
- Wicklungszustand (zu hohe Temperatur durch fehlende Anströmung, zu kleine Lüfterleistung, Verschmutzung, )
- Generatorstillstandsheizung (fehlender Anschluß, Wicklungsrost)
- Frischluftzufuhr (Kühlung)
- Kabelzustand (Scheuerstellen, Vibrationsschäden, Aushärten und Bruch der Isolierung )



# Generatorwartung : Schwingungsschäden



Quelle: ATEX Compressors,  
Defekte Schwinggummis



Quelle: ATEX Compressors,  
Angescheuerte Kabel

# Generatorwartung



Quelle ATEX Compressors  
Wälzlager defekt

Optimaler Biogas-BHKW-Betrieb  
21.8.2018



Quelle ATEX Compressors  
Zuviel Schmierfett im Wälzlager

# Generator: Schadenvermeidung

## **Anlagenkonfiguration:**

- Schwingungsprobleme des Gensets
- Kühlluftführung – zu heißer Betrieb
- Mangelnde Raumlufthfilterung

## **Typische Wartungsfehler:**

- Keine Beachtung des Wartungsplanes des Generatorherstellers
- Falsche Lagerfettart, Überfüllung des Wälzlagers
- Hohe Schmutz- und Feuchtigkeitsbelastung : Wicklungsrost

