

4. Auszuwertende Motorbetriebsdaten

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

Agenda

1. Externe Einflussgrößen auf den BHKW-Betrieb:
 - **Temperatur- und Kondensat-Schwankungen im Tagesablauf und**
 - **im jahreszeitlichen Wechsel**

2. Interne Einflussgrößen:
 - **mechanischer Verschleiß der Motorkomponenten,**
 - **Verschmutzung von Filtern, Wärmetauschern und Notkühlern,**
 - **Verbrauch/Veränderung von Schmier- und Kühlmitteln**

Agenda

3. Betriebsdatenerfassung:

- ✓ **Zylinderselektiv Temperaturen Brennraum / Abgas,**
- ✓ **Zündspannungswerte,**
- ✓ **Kühlkreislauf Vor- und Rücklaufwerte Temperatur sowie Betriebsdruck,**
- ✓ **AWT Temperatur ,**
- ✓ **H₂S-Gehalt Biogas, Biogas Temperatur vor Gasregelstrecke,..**
- ✓ **Schmieröltemperatur und - Analyse**

4. Auswertung zur Schadenprävention und -Analyse



1. Externe Einflussgrößen auf den BHKW-Betrieb

Temperatur- und Kondensat-Schwankungen im Tagesablauf und im jahreszeitlichen Wechsel

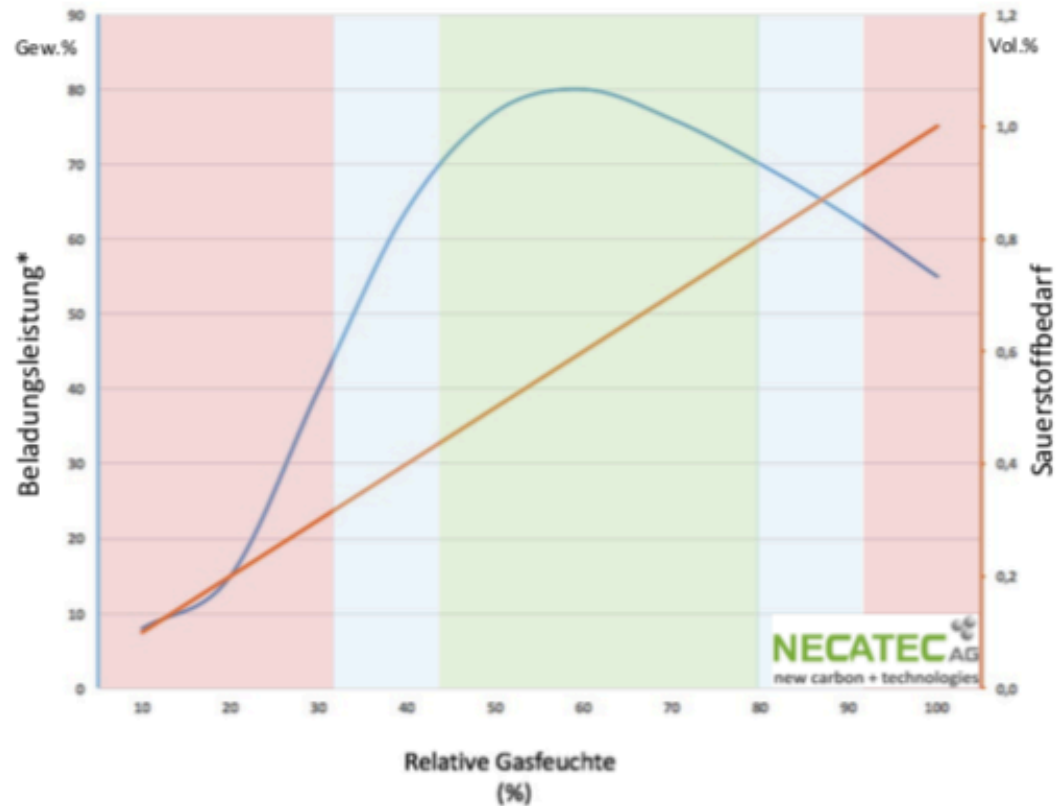
Biogas verlässt zu 100 % wasserdampfgesättigt den Fermenter mit Temperaturen von 37°C bis über 50°C:

Je nach Temperatur des Biogases fällt mehr oder weniger Feuchtigkeit als Kondensat aus. Schwebstoffe im Kondensat können dann in feinmechanischen Bauteilen zu Störungen führen:

- Aktivkohlebehälter
- Nulldruckregler
- Gemischregler



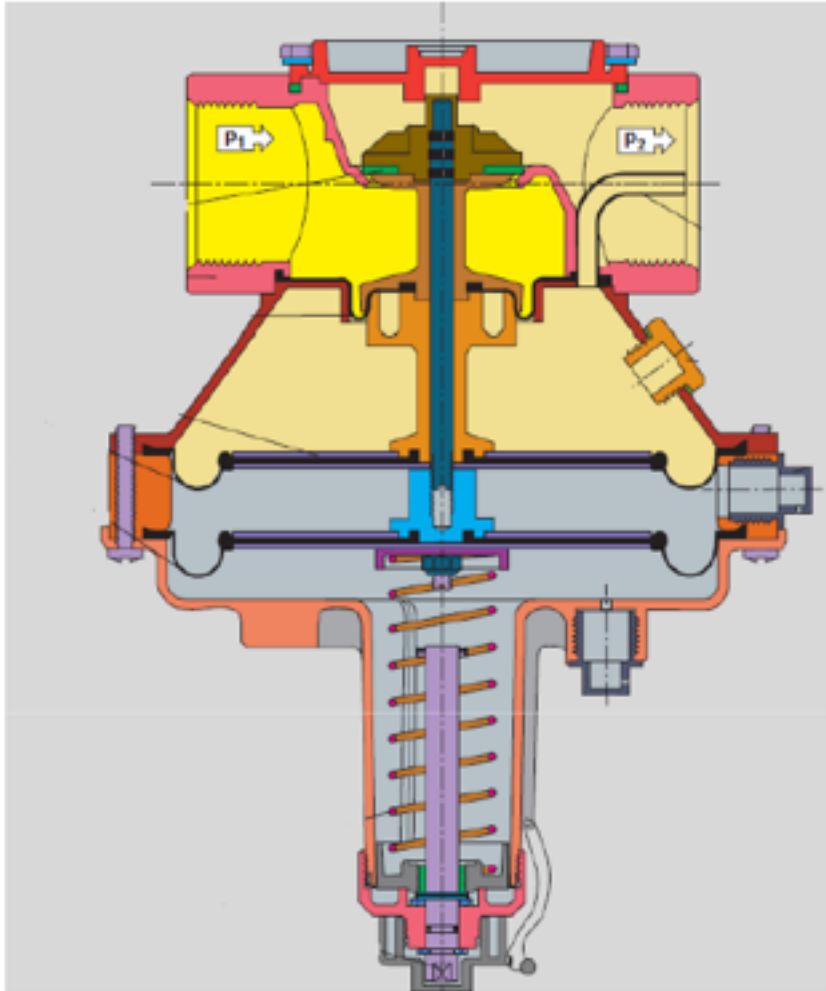
1. Externe Einflussgrößen auf den BHKW-Betrieb



*bei 100 – 500 ppm H₂S, Biogas, fraktale Verweilzeit im Adsorber 4-6s, keine weiteren Spurengase, Biogas (C/C₀=0,05), Gastemperatur >20°C

- Beladungsleistung der Aktivkohle hängt sehr von der Temperatur und relativer Feuchte ab
- Sauerstoffgehalt ca. 0,6 %
- Biogas darf nicht zu trocken oder zu nass sein

Externe Einflussgrößen auf den BHKW-Betrieb



Quelle: Caterpillar Energy Solutions

Gasregelstrecke mit Sicherheitsabsperrentilen, Feingasfilter, Nulldruckregler und Gemischregler mögen

- weder Kondensat
- noch Schmutzstoffe im Biogas

Feinmechanische Bauteile verschleifen, Membranen verhärten und verändern Regelverhalten (Stick-Slip : Haftgleiten)

2. Motor-Interne Einflussgrößen

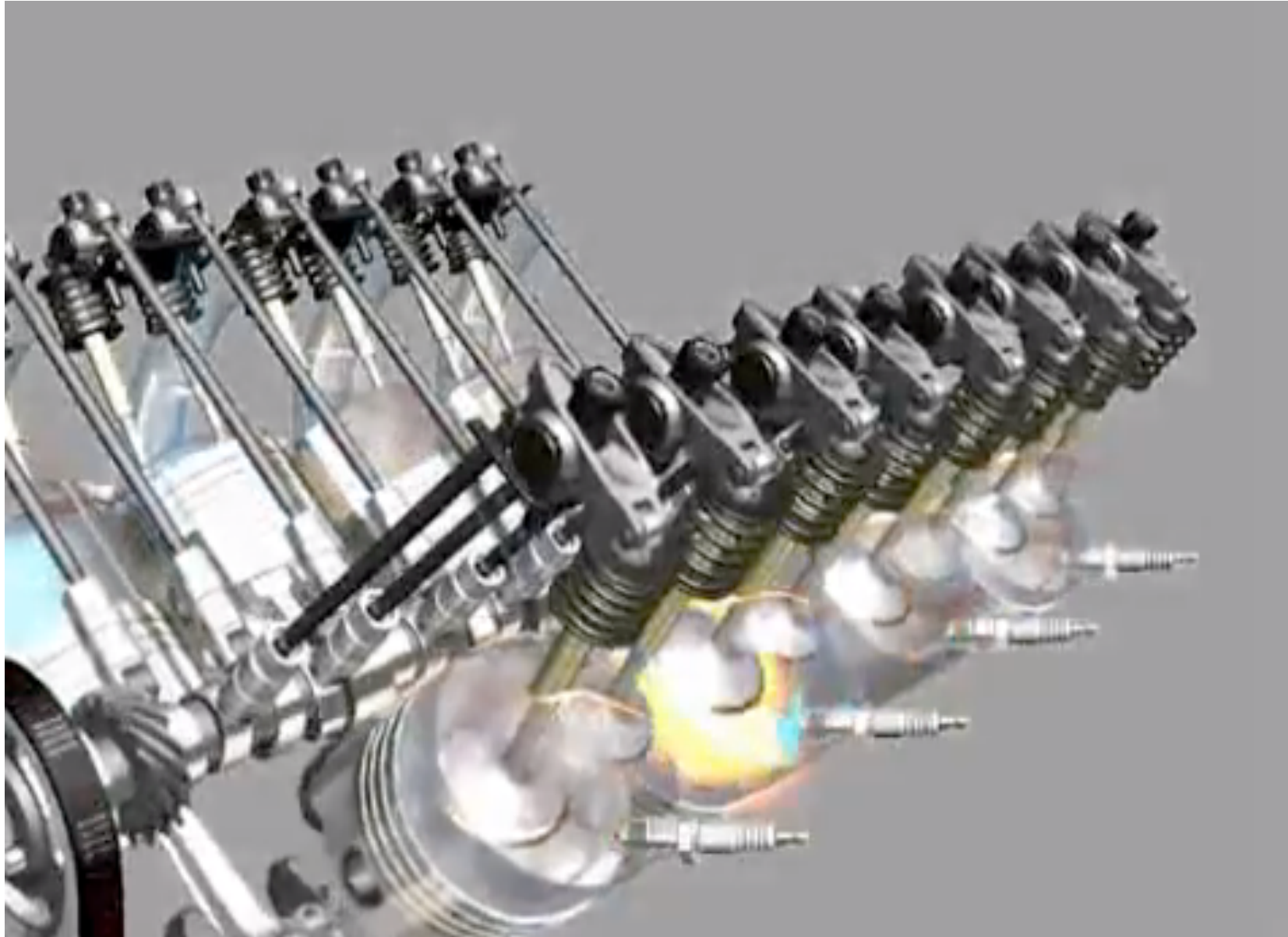
- **mechanischer Verschleiß der Motorkomponenten**
 - Reibung Kolben, Kolbenringe, Laufbuchse : Wirkungsgrad sinkt, Blow-by steigt
 - Lager: Kurbelwelle, Nockenwelle
 - Ventiltrieb: Ventilführung, Stößel, Ventilsitz,-Teller,
- **Zustand von Filtern und Kühlern / Wärmetauschern**
 - Abscheidung von Schwebstoffen, „aktive Fläche“ wird kleiner
 - Bauteilkühlung, Gemischkühlung, Schmierölkühlung
- **Verbrauch von Schmier- und Kühlmitteln**
 - Chemische Veränderung durch Temperatur und Druck- / Scherkräften
 - Schmier- und Kühlleistung sinkt

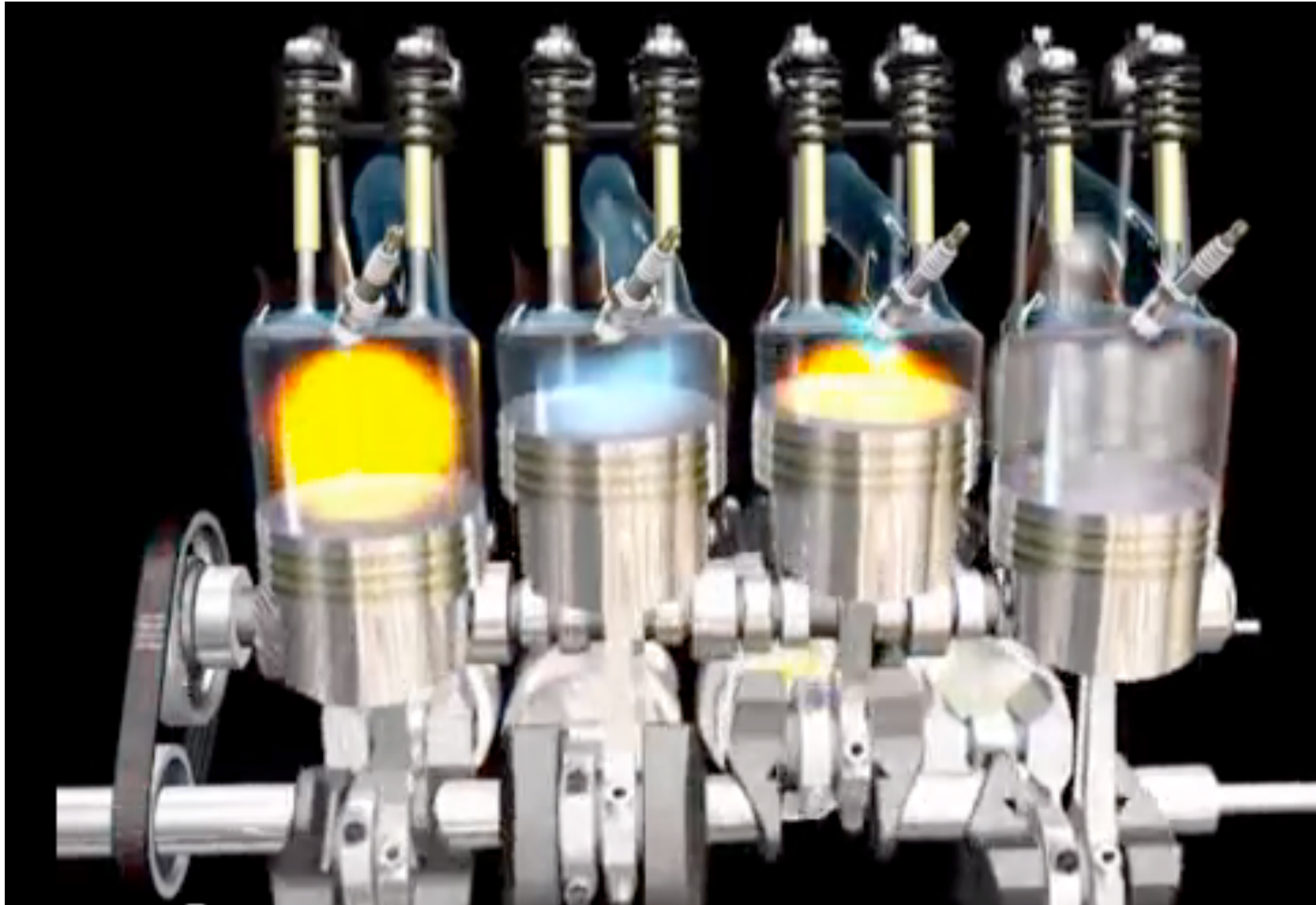


2. Motor-Interne Einflussgrößen

2.1 Mechanischer Verschleiß als Folge der Verbundbelastung Druck, Temperatur, chemischer Angriff (Säure, harte Ablagerung):

- Reibung zwischen Kolben/Kolbenringen/Laufbuchsen
- Veränderung der Lagerspiele Hauptlager/Pleuellager mit Verschleiß des Lagermaterials und Materialabtrag des Zapfens
- Verschleiß Ventilsitz/Sitzring/Zylinderkopf/Ventilführung durch Aufprall, Reibung





2. Motor-Interne Einflussgrößen

2.2 Zustand von Filtern und Kühlern:

Gas- und Raumluft- und Ansaugluftfilter:

Druckdifferenz, Temperatur, Störstoffe, Volumenstrom beeinflusst Gebläseleistung und Pumpenleistung

Kühler:

Verschmutzung luft- wie wasserseitig:

Druckdifferenz, Temperatur, Störstoffe, Volumenstrom, Kühlleistung



2. Motor-Interne Einflussgrößen

2.3 Verbrauch von Schmier- und Kühlmitteln:

Motorschmieröl:

Unter Belastung mechanisch, thermisch, chemisch beansprucht, Veränderung der Viskosität und des PH-Wertes (Druck, Temperatur, Zusammensetzung der Additive)

Kühlmittel:

Thermische Belastung, bei Dampfblasenbildung chemische Zersetzung und hoher Verlust der Kühlwirkung, Kavitation an Gehäuseteilen (Druck, Temperatur, Zusammensetzung)



Kavitationsschäden an
einem Motorblock aufgrund
zu geringen
Kühlwasserdruckes !

Quelle: Caterpillar Energy Solutions

3. Betriebsdatenerfassung

- Zylinderselektiv Temperaturen Brennraum / Abgas,
- Zündspannungswerte,
- Kühlkreislauf Vor- und Rücklaufwerte Temperatur sowie Betriebsdruck,
- AWT Temperatur ,
- H₂S-Gehalt Biogas, Biogas Temperatur vor Gasregelstrecke,
- Schmieröltemperatur und - Analyse

3. Betriebsdatenerfassung

Zylinderselektiv Temperaturen Brennraum / Abgas

- Mittelwerte für alle Zylinder oder eine Zylinderbank schränken Fehleranalyse ein
- Temperaturen pro Zylinder geben Aufschluss, welcher Zylinder ein Problem hat und welche Zylinder unkritisch sind
- Einzeltemperaturen zeigen Bandbreite der Temperaturen an, die ebenfalls Aufschluss über Störungen geben (z.B. Kühlmittelfluss durch den Motor)



3. Betriebsdatenerfassung

Zündspannungswerte

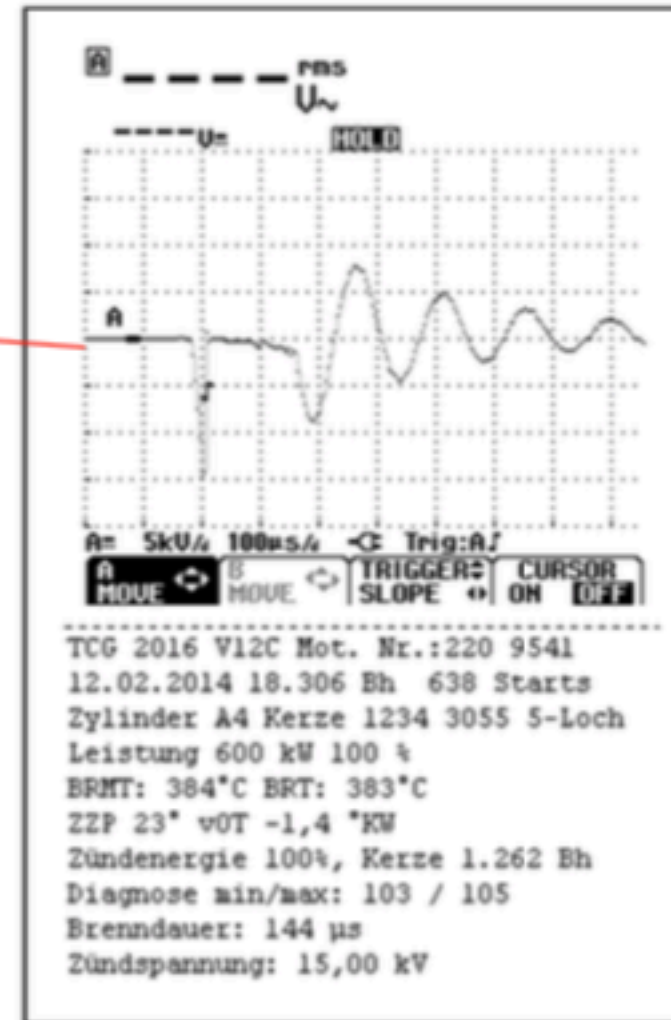
- Funkenüberschlag hängt von der Höhe der Zündspannung ab
- Zündleistung von der Brenndauer des Zündfunken
- Verschleißmaß der Zündkerzen ist z.T. die Ladezeit eines Kondensators zur Erzielung einer Zündspannung (angezeigt in Motorsteuerung)
- Bauformen je nach Motorbeanspruchung: einfache „Hakenkerze“ oder eine Vorkammerkerze

Diagnose	Reihe A		Reihe B	
	Min	Max	Min	Max
Zylinder 1	102	104	101	102
Zylinder 2	96	97	94	94
Zylinder 3	109	112	101	103
Zylinder 4	103	105	101	102
Zylinder 5	104	108	97	99
Zylinder 6	100	102	102	103

Die Zündanlage stellt ausreichend Zündenergie zur Zündung der Zündkerze bereit.

Die Brenndauer der Kerze ist ausreichend lang um das Gemisch zu entflammen.

Die Zündkerze ist in einem guten Zustand.



Quelle: Caterpillar Energy Solutions

3. Betriebsdatenerfassung

Kühlkreisläufe

- Leckagen, ausreichend Wasser, Membranausgleichsgefäß funktionsfähig und auf den richtigen Druck eingestellt ($> 1,5 \text{ bar} - 2,5 \text{ bar}$), Betriebsdruck
- Motorkühlkreislauf : Vorlauf- Rücklauftemperatur = Spreizung $< 7 \text{ Kelvin}$, reduziert Bauteilspannungen durch thermischen Verzug
- Motorsteuerung sollte beide Temperaturen im Motorkühlkreislauf anzeigen: Vorlauf- und Rücklauf-Temperatur , ebenso den Kühlwasserdruck

3. Betriebsdatenerfassung

Abgaswärmetauscher

- Nutzwärmeauskopplung Eckpunkte: Abgastemperatur vor und nach AWT sowie der Wasservolumenstrom
- AWT-Kühlkreislauf ohne Motorkühlkreislauf: Wasserdruck 5 bar wegen Dampfdruckkurve notwendig
- Reinigung der Abgas-führenden Rohre notwendig, Auskühlung auf 180°C für Biogas OK, steigt die Temperatur nach AWT auf ca. 220°C : schlechte Wärmeübertragung: Reinigung AWT notwendig.
- Regelmäßige Kondensatabfuhr wegen drohender Korrosionsschäden notwendig!

3. Betriebsdatenerfassung

H₂S-Gehalt Biogas, Biogas Temperatur vor Gasregelstrecke

- Kontinuierliche Messung H₂S-Gehalt des Biogases nach Biogasaufbereitung inkl. Dokumentation:
 - Beitrag zur Schadenanalyse
 - Versicherungswirtschaft erfragt diese Werte im Wege der Regulierung von Schäden
 - Durchbruchsignal verbrauchter Aktivkohle als Spätindikator, besser ist eine dreistufige Messung am Aktivkohlebehälter mit Messstutzen zur Erkennung, wann die Aktivkohle gewechselt werden muss.

- Biogastemperatur-Messung zur sicheren Anzeige von Kondensatausfall in der Biogasleitung:
 - Biogasleitung im Kaltluftstrom vom Frischluftgebläse
 - Unisolierte Gasleitungen nach Gasaufbereitung im Freien

3. Betriebsdatenerfassung

Schmieröltemperatur und - Analyse

- Schmieröldruck mit 4,5 – 6 bar zumeist in Ordnung, nur bei sehr stark verschlissenen Lagern sackt der Druck im Betrieb unter 4,5 bar ab
- Schmieröltemperatur bei betriebswarmen Motor ca. 85°C bis 95°C, bei höheren Temperaturen bauen sich Additive stark ab.
- Schmierölanalyse gibt den Fingerabdruck des motorinternen Verschleißbildes : Abrieb, Kühlmiteleinbruch, Biogasbestandteile (H₂S), harte Reaktionsprodukte (Quartz aus Siloxanen) und der restlichen Leistungsfähigkeit des Schmieröles



Schmierölanalyse

Historie ist maßgebend,
daher regelmäßig erstellen

Abriebwerte zeigen
mechanischen Verschleiß

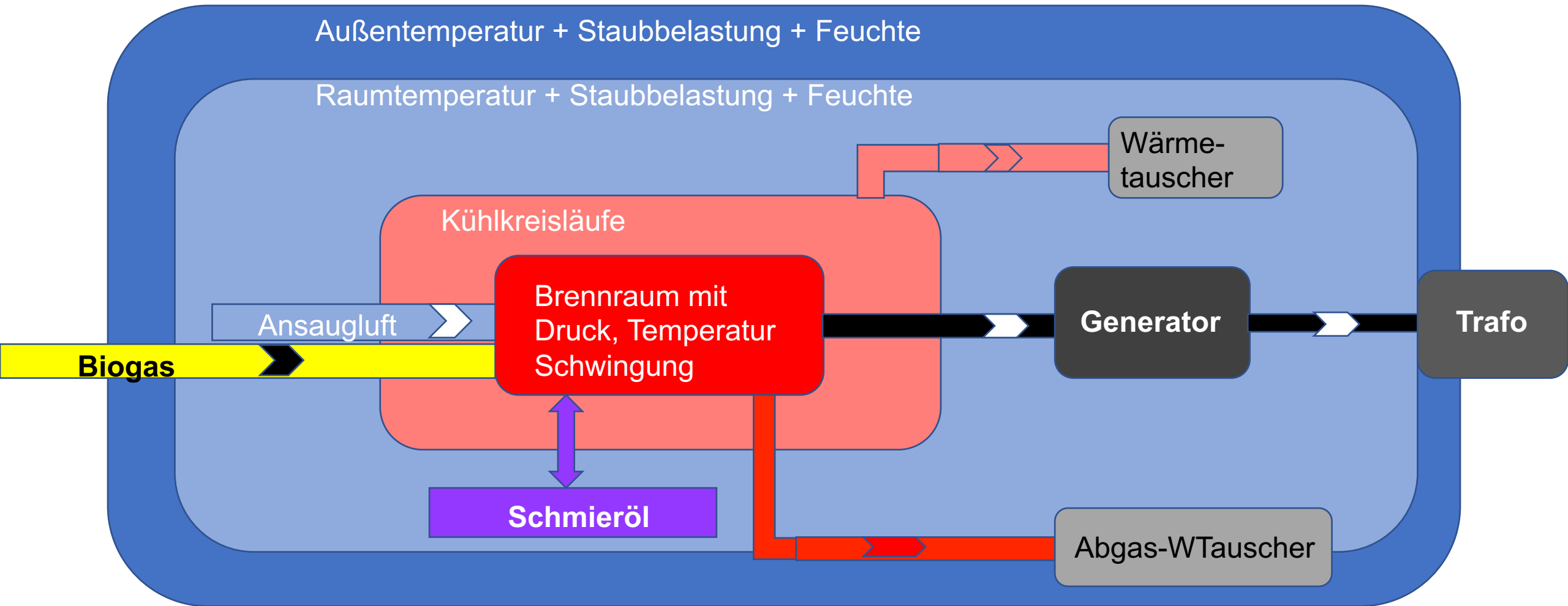
Alterung und Säurepuffer-
Verhalten

Fremdstoffe wie Silikate,
Glycol aus Kühlmittel

		1 - Aktuell	2	3	4	5
Ölwechsel bei Probennahme		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Stichtag		16-01-15	27-12-14	05-12-14	13-11-14	22-10-14
Betriebsstunden Öl	[h]	474	504	512	512	503
Betriebsstd. Aggregat	[h]	23940	23466	22962	22450	21938
Nachfüllmenge	[l]	39	45	42	39	38
Elemente						
Aluminium	[mg/kg]	1	5	5	1	<1
Eisen	[mg/kg]	16	14	17	11	9
Chrom	[mg/kg]	<1	<1	<1	<1	<1
Kupfer	[mg/kg]	4	3	3	2	2
Silizium	[mg/kg]	2	3	2	2	2
Blei	[mg/kg]	1	<1	4	5	3
Zinn	[mg/kg]	1	<1	<1	1	2
Nickel	[mg/kg]	<1	<1	<1	<1	<1
Natrium	[mg/kg]	<1	4	5	4	3
Bor	[mg/kg]	2	2	2	2	3
Öl-Meßwerte						
Viskosität bei 40°C	[mm ² /s]	134	126	139	142	138
Viskosität bei 100°C	[mm ² /s]	16.1	15.4	16.6	16.6	16.4
Wasser	[%]	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Glykol	[g/100g]	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG
Alterung	[A/cm]	20	15 !	24 !!	25	21
Nitrierung	[A/cm]	3	2	4	4	3
TAN	[mg KOH/g]	3.1	2.9	3.3	3.2	3.2
TBN	[mg KOH/g]	7.2	7.7	7.1	6.7	6.4
Anfangs pH-Wert	[NA]	6.65	7.09	6.39	6.16	6.71
Schwefel	[NA]	2200	2200	2200	2400	2700



Modellierung Biogas-BHKW



4. Auswertung zur Schadenprävention und – Analyse

Bestandteile des BHKW-Status-Check:

1. Biogasaufbereitung

Kühlung, Entfeuchtung, Nacherwärmung,....

2. Gemischaufbereitung

Raumluft-Klimatisierung, Gemischkühler,...

3. Motorkühlung und Abwärmeführung

Kühlmittelzustand, Druckhaltung, Wärmetauscher,..

4. Motorschmierung und Motormechanik

Schmierölanalysen, ATL, UPF-Filter,..



4. Auswertung zur Schadenprävention und – Analyse

5. Motorsteuerung und Sensorik

Temperatur- und Druckwächter, Kabelführung,...

6. Technische Betriebsführung

Betriebsdaten-Doku, Prüfplan, Todo-Listen,...

7. Maßnahmen zur Anlagenoptimierung

Motorsteuerung, Abwärmeführung, Eigenstromverbr,...

8. Bewertung aktueller Betriebsdaten

Kritische Betriebsfenster
Temperaturen und Drücke,...



Interessen Gemeinschaft Biogasmotoren unterstützt Betreiber für einen profitablen (Flex-) Betrieb des Biogas- BHKWs

IG Biogasmotoren e.V.
Osterstr. 58
20259 Hamburg

info@ig-biogasmotoren.de
<https://ig-biogasmotoren.de>



Michael Wentzke
Geschäftsführer

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !