

Schadensreport 2.0 Biogas-Blockheizkraftwerke

Schadhafte Baugruppen am Biogasmotor
und Darstellung der praktischen Auswirkungen
auf den alltäglichen BHKW-Betrieb im
Teil1 Biogasaufbereitung

Aktualisiert mit Ergänzungen für den Flexbetrieb

Dipl.-Ing. Michael Wentzke



Inhaltsangabe

Vorwort	Seite 3
1. Biogasaufbereitung	Seite 4
1.1 Entfeuchtung des Biogases	Seite 4
1.2 Filtern des Schwefelwasserstoffes	Seite 4
2. Gemischaufbereitung und Qualität der Verbrennung	Seite 5
2.1 Ansaugluftversorgung	Seite 5
2.2 Biogaszuführung	Seite 6
2.3 Gemischführung	Seite 7
2.4 Zündkerzen, Zündspannungsversorgung	Seite 7
3. Motorkühlung und Abwärmeführung	Seite 8
3.1 Motorkühlkreislauf	Seite 8
3.2. Abwärmeführung	Seite 9
4. Motorschmierung und Motormechnik	Seite 11
4.1 Verbrennungsraum und seine Abdichtung	Seite 12
4.2 Turbolader	Seite 13
4.3 Schmierölkreislauf	Seite 14
4.4. Schwingungsprobleme	Seite 15
5. Motorsteuerung und Motorsensorik	Seite 16
5.1 Betriebsdatenauswertung	Seite 17
5.2 Motorsensorik	Seite 17



Schadensreport von Biogas-BHKWs

Die Schaden-Statistik der Biogasmotoren bei Versicherern hat sich nur unwesentlich verbessert. Aus vielen Anlagen- Besichtigungen und Datenaufnahmen sowie aus zahlreichen Biogasmotoren Technik- und Flex-Seminaren mit Erfahrungsberichten der Teilnehmer werden typische Mängel von Biogas BHKWs beschrieben. Diese führen oft zu ungeplanten, teuren Betriebsunterbrechungen.

Mit diesem aktualisierten Schadensreport und der Darstellung der wichtigen Funktionszusammenhänge möchten wir den Betreibern Unterstützung bieten, selbst wirksame Schadensprävention gemeinsam mit ihren Servicepartnern zu schaffen. Für anstehende Flexibilisierungs-Projekte lassen sich fehlerhafte Projektierungen vermeiden und die Anforderungen an einen flexiblen Anlagenbetrieb richtig umsetzen.

Dieser aktualisierte Schadensreport zeigt die Vielfalt von Schäden an Biogas-BHKWs auf. Sie sind sowohl auf Mängel der Komponenten-Hersteller (insbesondere Motorenhersteller), von Packagern als auch auf Unzulänglichkeiten der technischen Betriebsführung und mangelnder Prüfung und Auswertung durch Servicepartner zurückzuführen.

Die Biogasmotoren-Technik Seminare sowie Flex- , Betriebssicherheits- und Betriebsführungs-Seminare dienen den Betreibern und Anlagentechnikern zur Schadensprävention und zur Unterstützung des Dialoges mit Serviceunternehmen, Packagern und Herstellern.

Die Aktualisierung des Schadensreportes wird kapitelweise erfolgen, dabei werden die notwendigen Ergänzungen bei flexiblen Anlagenbetrieb vorgenommen.

IG Biogasmotoren e.V.
Hamburg, den 21.8.2017

Michael Wentzke

1. Biogasaufbereitung

Die Biogasaufbereitung wird für den störungsfreien Betrieb eines Biogas BHKWs häufig unterschätzt. Wenn das Biogas aus dem Fermenter austritt, kommt es aus einer Atmosphäre, die zu 100 % Wasserdampf gesättigt ist und das Biogas ist entsprechend feucht. Nicht nur der Wasserdampf ist unerwünscht, sondern auch andere Begleitstoffe die mitgeführt werden. So zum Beispiel Schwefelwasserstoff, das im Biogas-Motor für eine starke Versauerung des Schmieröls sorgt. Nicht nur die Gefährdung der Motorschmierung, sondern auch die Korrosion im Abgastrakt ist eine unerwünschte Nebenerscheinung des Schwefelwasserstoffs.

1.1 Entfeuchtung des Biogases

Wasserdampf im Biogas ist deshalb unerwünscht, weil es zur Kondensatbildung in der Biogas-Leitung kommen kann und dann zu ernsthaften Störungen in den nachfolgenden Bauteilen. Zu denen gehört auch der Aktivkohlefilter, der das Biogas vom Schwefelwasserstoff und anderen Schadstoffen befreit.

Das Biogas muss stark abgekühlt werden, um es entfeuchten zu können. Das auskondensierte Wasser sammelt sich im Wasserabscheider. Es erfolgt dann eine Nacherwärmung des Biogases, damit es im Aktivkohlefilter die geforderte maximale relative Feuchte zuverlässig unterschreitet ($< 50\%$ rel. Feuchte).

1.2. Filtern des Schwefelwasserstoffes

Im Aktivkohlefilter wird der im Biogas mitgeführte Schwefelwasserstoff herausgefiltert. Für gute Wirkungsgrade des Filters dürfen maximal Werte der relativen Feuchte nicht überschritten werden. Damit die im Biogas noch enthaltene Restfeuchte nicht auf dem Weg vom Aktivkohlefilter zur Gasregel-Strecke kondensiert, ist es wichtig, sowohl den Aktivkohlefilter als auch die Gasleitungen gut zu isolieren.

Um einen Durchbruch des Aktivkohlefilters mit Schwefelwasserstoff zu vermeiden und die Aktivkohle rechtzeitig wechseln zu können, ist eine genaue Messung des Schwefelwasserstoffgehaltes in unterschiedlichen Bereichen des Aktivkohlefilters notwendig.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *unzureichende Entfeuchtung des Biogases*
- *keine Nacherwärmung des Biogases vor Eintritt in den Aktivkohlefilter*

- keine zuverlässige Messung des Austauschzeitpunktes für die Aktivkohle (Durchbruch des Aktivkohlefilters)
- keine Isolierung des Filtergehäuses und der Biogasleitung bis Eintritt in die Gasregelstrecke

2. Gemischaufbereitung und Qualität der Verbrennung

Die Gemischbildung im Biogasmotor ist anspruchsvoll, da es sich bei dem Biogas um einen nicht normierten Brennstoff handelt, der natürlichen Schwankungen im Gärprozess unterliegt. Diese betreffen sowohl den Methangehalt als auch den Gehalt der unerwünschten Begleitstoffe wie z.B. Schwefelwasserstoff und Wasserdampf.

Das Biogas mit einem hohen Anteil an Kohlendioxid wird mit der Ansaugluft zu einem verbrennungsfähigen Gas-Luftgemisch zusammengeführt und mit der Zündkerze entzündet. Dies soll bei rund 60% Luftüberschuss geschehen, um die Stickoxidbildung gering zu halten und das Biogas möglichst vollständig auszunutzen und zu verbrennen.

Der hohe Luftüberschuss führt dazu, dass die Verbrennung relativ langsam abläuft, da das Gasgemisch viele reaktionsträge Gasbestandteile - wie Stickstoff der Luft und Kohlendioxid des Biogases - enthält.

Für ein vollständiges „Durchbrennen“ dieses Gasgemisches ist ein sehr kräftiger Zündfunke notwendig. Dieser muss mit sehr hohen Zündspannungen realisiert werden, was bei vielen Biogasmotoren zu einem rasanten Zündkerzenverschleiß führt.

2.1 Ansaugluftversorgung

Motorenhersteller fordern ganz berechtigt eine Temperierung und sorgfältige Filterung der Ansaugluft. Die Ansauglufttemperatur muss sich innerhalb eines vorgeschriebenen Temperaturfensters bewegen. Sie darf dieses nicht nach unten verlassen, da in diesem Fall der Biogasmotor mit einer zu großen Füllung (Ladungsgewicht aus Biogas und Ansaugluft) überlastet wird. Bei zu hoher Ansauglufttemperatur steigen Temperatur und Druck ebenfalls auf zu hohe Werte an, hier besteht akute Klopfgefahr.

Daher ist eine Temperaturregelung der Ansaugluft in Form von Umluftklappen (Mischen von kalter Frischluft und warmer Raumluft im Winter) und der Einsatz von Frischluftgebläsen im Sommer unerlässlich, um Wärmelasten aufgrund der Strahlungswärme heißer Motorenteile und heiße Medien führender Rohre im BHKW-Betriebsraum zu reduzieren.

Schwachpunkte in der Praxis:

- manuelle Temperaturregelung, keine Integration in Motorsteuerung,

- *mangelnde Isolierung heißer Rohre oder Motorteile (Abgasturbolader)*
- *keine Temperatur-geregelten Lüfterantriebe*

Die Ansaugluftfilterung beginnt mit der Raumlufffilterung. Neben der Staubbelastung sind vereinzelt auch Ammoniak-Emissionen aus Tierstallungen unerwünscht. Die Raumluff-Filtergehäuse befinden sich häufig auf dem BHKW-Container oder dem Betriebsgebäude und müssen regelmäßig gewartet werden.

Werden keine Raumlufffilter eingesetzt (entgegen der Einbauvorschrift vieler Biogasmotoren-Hersteller) verschmutzen die Ansaugluftfilter entsprechend stärker. Außerdem werden die Motoren mit ihren Anbauteilen mit einer Staubschicht überzogen, die Wartungs- und Reparaturarbeiten beeinträchtigen.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *häufig unregelmäßige Wartung der Raumlufffilter*
- *keine Differenzdruck-geführte Überwachung des Raumlufffilterzustandes*

2.2 Biogaszuführung

Im Idealfall tritt das Biogas gekühlt, entfeuchtet, nacherwärmt und von Schwefelwasserstoff befreit sowie gefiltert in die Gasregelstrecke ein. Dort hat es noch einen zu großen Druck, um mit der Ansaugluft gemischt werden zu können. Der Nulldruckregler stellt sicher, dass der Druck in der Biogasleitung auf Umgebungsdruck abgesenkt wird. Danach erfolgt im Gemischregler die verbrennungstechnisch gewünschte Mischung von Ansaugluft und Biogas.

Der hohe Luftüberschuss von 60% wird etwas abgesenkt in der Startphase des Biogasmotors (Gemisch wird etwas „fetter“..). Bei wechselnden Methangehalten ändert sich auch der Anteil des Biogases an dem Gasgemisch: er steigt etwas, wenn der Methangehalt sinkt und er sinkt, wenn der Methangehalt im Biogas ansteigt.

Diese Gemischreglereinstellungen sollten über die Messung des Methangehaltes des Biogases geregelt erfolgen. Häufig werden diese jedoch manuell vorgenommen, was eine sorgfältige Grundeinstellung des Gemischreglers erfordert (Startwerte und Rampen für Methangehaltsveränderungen).

Schwachpunkte in der Praxis:

- *schlecht justierte Nulldruckregler*
- *keine geregelten Gemischregler, fehlerhafte Grundeinstellung*



- *nicht regelmäßig gewechselte Gasfilter*
- *keine isolierte Gasleitung (Gefahr der Kondensatbildung, wenn Gasleitung im Frischluftstrom hängt!)*

2.3 Gemischführung

Die Gase aus der Kurbelgehäuseentlüftung werden regelmäßig vor der Verdichterstufe des Abgasturboladers in den Ansaugtrakt geführt. Dabei ist darauf zu achten, dass Schmierölnebel aus den Blow-By-Gasen entfernt werden. Diese würden auf dem Weg durch den Turbolader und Gemischkühler für Verschmutzungen und im Brennraum und im Abgastrakt für Ölablagerungen (Verkokungen) sorgen.

Der Verdichter sorgt neben der gewünschten Druckerhöhung auch für die Erwärmung des Gasgemisches, die unerwünschte Nebenwirkung ist und durch den Gemischkühler wieder abgesenkt wird. Eine Gemischtemperatur von ca. 50 ° Celsius oder weniger senkt die thermische Belastung des Motors.

Damit der Gemischkühler diese Kühlleistung erbringen kann, darf er nicht verschmutzt sein (Gasführende Teile) und muss ausreichend von Kühlwasser durchströmt werden.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *zuviel Ölnebel in der Verbrennungsluft (Filter Ölnebelabscheider, Druckregler überprüfen, Unterdruck darf nicht zu groß sein)*
- *verschlissene Ventilschaftabdichtungen, Motor saugt Schmieröl an*
- *zu hohe Gemischtemperatur durch verschmutzten Gemischkühler*
- *Riss des Gemischkühlers durch fehlende Kühlwasserdurchströmung: mangelhafte Entlüftung des Bauteiles, fehlende Kühlwassermangelsicherung*
- *klopfende Verbrennung durch zu hohe Gemischtemperatur, Reaktion Motorsteuerung: Leistungsreduktion*

2.4 Zündkerzen, Zündspannungsversorgung

Zündstrahl-Gasmotoren, die mit Diesel-Zündöleinspritzung oder schon mit Zündgaseinspritzung arbeiten haben gegenüber der Zündkerze den Vorteil, dass die Zündenergie des eingespritzten Kraftstoffes ca. 10.000 mal höher ist als ein Zündfunke.

Dieser Größenordnungsunterschied der Zündenergie erklärt die Probleme mit stark verschleißenden Zündkerzen von Biogasmotoren in der Praxis.

Trotz temperaturbeständiger und teurer Bauteile der Zündkerzen (Elektroden sind hoch beansprucht) sind die Standzeiten der Zündkerzen sehr unterschiedlich und reichen von wenigen hundert Betriebsstunden bis zu 3-4000 Betriebsstunden.

Die Zündspannungsversorgung ist im Durchschnitt wenig stör anfällig, für die Zündkerzen gelten strenge Einbauvorschriften, damit sie am Sitz im Zylinderkopf nicht thermisch überbeansprucht werden.

Wenn Biogasmotoren wegen verschlissener Zündkerzen in Störung gehen, sind die entsprechenden Diagnosewerte als Richtwert für den Austauschzeitpunkt nicht umgesetzt worden. Auch wenn der Austausch von Zündkerzen kostspielig ist, lohnt es sich nicht, diese bis zum (ungeplanten) Ausfall einzusetzen.

Ein guter mechanischer Zustand des Biogasmotors und eine dem Methangehalt entsprechende Gemischreglereinstellung sowie eine gute Kühlleistung des Gemischkühlers begünstigen hohe Standzeiten der Zündkerzen.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *thermische Überlastung der Zündkerzen*
- *Fadenbildung an Vorkammerzündkerzen und vorzeitiger Ausfall*

Schadensquoten aus den untersuchten Biogasmotoren

Zündkerzendefekte :	2,24 %
Zündspule und -Elektronik:	1,25 %
Gemischkühler:	6,48%
Gas-Luft-Mischer	4,74 %



3. Motorkühlung und Abwärmeführung

Für Betreiber von Biogas-BHKWs sind nicht nur die Einnahmen aus der Stromerzeugung sondern zunehmend auch der Verkauf der Nutzwärme aus dem BHKW wirtschaftlich von Bedeutung.

Wenn die zugeführte Energie des Biogases mit 100% angesetzt wird, dann werden ca. 42-44% als elektrische Energie umgewandelt, ca. 21% werden als Wärme über das Motorkühlwasser abgeführt, rund 24% der zugeführten Energie verbleibt im heißen Abgas und kann über den Abgaswärmetauscher genutzt werden. Ca. 13% sind nicht wirtschaftlich nutzbar, da Strahlungswärme (rund 8%) und motorinterne Reibung (5 %) nicht vermeidbar sind.

Für die Motorengesundheit ist es maßgeblich, dass die Bauteile, die hoher thermischer Belastung ausgesetzt sind, ausreichend und gleichmäßig gekühlt sind. Es kommt also nicht nur darauf an, die Wärme abzuführen, sondern auch einen Verzug der Bauteile zu vermeiden die auf ungleichmäßige Kühlung zurückzuführen ist. Eine runde Laufbuchse wird im Falle ungleichmäßiger Kühlung dann leicht oval. Da sich Kolben und Kolbenringe hohem Druck und Temperaturen ausgesetzt sind, nehmen bei Verzug der Laufbuchse alle Bauteile Schaden bis zum Kolbenfresser.

Für eine bessere wirtschaftliche Nutzung des Biogases spielt nicht nur die Stromerzeugung eine wichtige Rolle, sondern auch der Verkauf der anfallenden Wärme bei der Verbrennung des Biogases im Biogasmotor. Die Wärmemenge, die bei der Kühlung des Motors anfällt, ist wirtschaftlich verwertbar - so z.B. für die Gebäudebeheizung.

Den heißen Abgasen lässt sich mit einem Abgaswärmetauscher ebenfalls viel Wärme entziehen. Diese steht mit einem deutlich höheren Temperaturniveau zur Verfügung, sodass sowohl Prozesswärme wie auch Heizwärme bereitgestellt werden kann.

3.1 Motorkühlkreislauf

Für eine wirksame Motorkühlung muss das Kühlmittel den Motor so durchströmen, dass sich nirgendwo beruhigte Zonen bilden können und Dampfblasenbildung vermieden wird. Ein ausreichend großer Kühlmitteldurchfluss bei einer möglichst geringen Temperaturspreizung (Differenz der Motoraustrittstemperatur zu Motoreintrittstemperatur) sorgt für geringen Wärmeverzug der Motorenbauteile. Ausreichend groß bemessene Kühlwasserleitungen, Kühlwasserpumpen und Wärmetauscher sorgen für gesunde Motorentemperaturen.

Dies gilt auch für sogenannte Notkühleinrichtungen, die die Wärme des Motors in die Umwelt entlassen, wenn gerade keine Wärme von Wärmeabnehmern benötigt wird.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *zu knapp bemessene, verschmutzte Wärmetauscher für die Abführung von Nutzwärme*
- *ungeregelte Pumpen mit zu hohem (Eigenstrom-) Verbrauch*
- *Kühlwasserleitungen mit zu hohem Durchflusswiderstand*
- *konstruktive Mängel der Kühlwasserführung im Motor*
- *keine oder zu wenige Kühlwassermangelsicherungen installiert*
- *zu niedriger Betriebsdruck mit Gefahr der Dampfblasenbildung*
- *Kühlmittel ungeeignet (wie Klarwasser, Rost mit Folgeschäden sind sicher) oder verbraucht*

3.2. Abwärmeführung

Im Idealfall wird die Versorgung von Wärmeabnehmern gleich bei der Biogas-BHKW Planung mit berücksichtigt. Der Wärmebedarf nicht nur der Höhe nach sondern auch mit seiner zeitlichen Verteilung spielt eine große Rolle bei der Dimensionierung der wärmeleitenden Bauteile.

Die Wärmeverbraucher dürfen sich im Betrieb nicht negativ auf die Motorkühlung auswirken. Der Motor darf sich nicht überhitzen, aber auch nicht „unterkühlt“ betrieben werden, da die Betriebsspiele der beweglichen Motoren-Teile nur in einem bestimmten Temperatur-Betriebsfenster ihr Optimum haben. Um dies sicherzustellen, werden entsprechende Thermostatventile und Temperatursensoren benötigt, die die Kühlwasserströme richtig lenken.

Werden Wärmeverbraucher nachträglich in bestehende BHKW-Anlagen integriert, ist eine außerordentlich sorgfältige Planung der wärmetechnischen Anlage notwendig, damit der Biogasmotor thermisch gesund bleibt und die gewünschte Wärmemenge den Verbrauchern zugeführt werden kann.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *unzureichende fachtechnische Planung (Pumpen, Ventile, hydraulische Weiche, Wärmetauscher, Rohrdimensionierung und -Führung)*

- fehlerhafte Installation, zu niedrige Betriebsdrücke insbesondere bei Abgaswärmetauschern,
- unzureichende Entlüftung der Komponenten
- keine regelmäßige Reinigung der Wärmetauscher

Der angemessene Einsatz von Regelungstechnik zum Schutz des Biogasmotors und zur optimalen, bedarfsgerechten Entkopplung von Nutzwärme entlastet Betreiber und führt zu stabilen Betriebszuständen. Manuelle Eingriffe in die Kühlwasserströme bringen häufig unerwünschte Effekte wie thermischer Stress des Biogasmotors und Wärmeverluste, die mit Umsatzeinbußen einhergehen. Das gleiche gilt auch, wenn Motoreintrittstemperaturen erhöht werden, um mehr Wärme zu gewinnen. Im Ergebnis wird nicht mehr Wärme verkaufbar, dem Motor droht aber deutlich erhöhter Verschleiß.

Schadensquoten aus den untersuchten Biogasmotoren:

Kühlwasserkreislauf : **8,97 %**

4. Motorschmierung und Motormechanik

Der Verbrennungsprozess mit seinen entstehenden Drücken und Temperaturen erfordert eine gute Abdichtung zwischen Kolben und Zylindern. Die Kraftübertragung über die Pleuelstange auf die dann rotierende Kurbelwelle und der gesamte Antrieb der für den Gaswechsel notwendigen Ventile über Nockenwelle und weiterer Bauteile macht eine gute Lagerung der sich drehenden und bewegenden Motorteile notwendig. Werden die vorgesehenen Betriebsspiele z.B. zwischen Lagern und Wellen eingehalten und wird der Schmierölfilm an den Reibpaarungen der Motor-Bauteile aufgebaut, läuft der Motor mit geringer Reibung und geringem Verschleiß. Dies bedeutet auch eine bessere Ausbeute des Biogases, denn auf die an der Kurbelwelle abgenommene mechanische Leistung kommt es für hohe mechanische Wirkungsgrade an. Dieser sollte nicht durch hohe interne Reibung des Motors reduziert werden.

Mängel der Gemischbildung, die z.B. zum Klopfen des Motors führen, belasten durch die Temperatur- und Druckspitzen die Motormechanik und führen oft zu Lagerschäden oder Bauteilbrüchen. Mangelnde Kühlung wirkt sich ebenso gravierend auf die Motormechanik aus: Bauteile erleiden einen Wärmeverzug, verlieren Festigkeit und im schlimmsten Fall kommt es zum Fressen von Bauteilen (z.B. Nockenwelle/Stößel oder Kolben/Laufbuchse).

Dem Schmieröl kommt eine zentrale Rolle für die mechanische Motorgesundheit zu, deshalb ist eine kontinuierliche Zustandsüberwachung und Ölanalyse dringend für den Betrieb von Biogasmotoren angeraten. Aus der Ölanalyse heraus läßt sich im Zeitablauf sehr gut ablesen, ob Verschleißraten im normalen Bereich liegen oder sich eine ernsthafte Motorschädigung ankündigt.

4.1 Verbrennungsraum und seine Abdichtung

Kolben, Laufbuchsen: Eine gute Abdichtung zwischen Kolben und Laufbuchse ist Voraussetzung für eine gute Kompression und beeinflusst den Wirkungsgrad ganz maßgeblich. Es ist ganz natürlich, dass aufgrund des stets vorhandenen (geringen) Verschleißes gerade zwischen Kolben und Zylinder der mechanische Wirkungsgrad mit dem Tag der Inbetriebnahme langsam absinkt und erst bei einer Grundüberholung (mit neuen Zylinderköpfen, Kolben, Laufbuchsen, etc.) nahezu auf den „Neuwert“ wieder ansteigt.

Zylinderkopf mit Ventilen , Ventilsitz: Die Abdichtung des Verbrennungsraumes nach „oben“ erfolgt durch den Zylinderkopf, durch den die Frischgase über die Einlassventile in den Verbrennungsraum gelangen und die heißen Abgase nach der Verbrennung in den Abgastrakt entlassen werden.

Der Zylinderkopf wird also sowohl von „kalten“ Frischgasen als auch von heißen Abgasen durchströmt und muss gegen Temperaturverzug sorgfältig konstruiert sein und natürlich sehr gut gekühlt werden. Die heißen Auslassventile geben die aufgenommene Wärme über den schmalen Ventilsitz an den gekühlten Zylinderkopf ab. Ventilsitze verschleissen mit der Zeit und machen auch den Austausch von Zylinderköpfen notwendig.

Die Zündkerze sitzt zumeist bei den Zylinderköpfen mit 4 Ventilen in der Mitte und muss das magere, hochverdichtete Gemisch aus Biogas und Ansaugluft mit einem kräftigen Zündfunken entzünden. Die Zündkerze gibt ihre aufgenommene Wärme aus dem Verbrennungsraum über den Sitz im Zylinderkopf an diesen ab, auch diese Stelle des Zylinderkopfes ist thermisch sehr belastet.

Gelangt zuviel Schmieröl in den Verbrennungsraum, bilden sich Ablagerungen auf dem Kolben und im Abgastrakt, was zu Störungen des Verbrennungsablaufes führt und in der Folge zu Schäden an Motorkomponenten führt (insbesondere am Abgasturbolader).

Mit dem Biogas gelangen vereinzelt Störstoffe in den Verbrennungsraum, die dort zu Siliziumoxid oxidieren und für einen raschen Verschleiß der Laufbuchsen sorgen.

Schwachpunkte in der Praxis:

- Zuviel Schmieröl in der Ansaugluft durch defekte Kurbelgehäuseentlüftung und mangelhafte Ölabscheidung
- Schmieröl mit zu hohem Sulfataschegehalt bei guter Aktivkohlefilterung des Biogases gegen Schwefelwasserstoff
- thermische Überlastung des Zylinderkopfes durch zu hohe Brennraumtemperaturen (klopfende Verbrennung) oder mangelnde Kühlung
- Fehlerhaft angezogene Zündkerzen (zu loser Sitz)

Schadensquoten aus den untersuchten Biogasmotoren:	
Kolben, Laufbuchsen :	2,49 %
Kurbelwellen, Nockenwellen:	6,48 %
Zylinderköpfe:	10,22 %
Grundrahmen:	4,23 %

4.2 Turbolader

Der Turbolader nimmt die heißen Abgase auf und nutzt deren Energie zur Verdichtung der Frischgase. Damit wird der Wirkungsgrad des Biogasmotors deutlich verbessert. Thermisch ist dieses Bauteil hochbelastet: die kalten Frischgase auf der einen Seite und die heißen Abgase in unmittelbarer Nähe auf der anderen Seite des Turboladers erfordern bei den sehr hohen Drehzahlen der Turboladerwelle mit Turbinen- und Verdichterrad eine sehr gute Schmierung und je nach Bauart des Turboladers auch eine gute Kühlung. Häufig sind die Turbolader gegen benachbarte Motorenteile gut isoliert.

Der Turbolader ist gegen Ablagerungen zu schützen, die aus zuviel Schmieröl im Verbrennungsraum herrühren. Bilden sich im Turbinenrad Ölkohleablagerungen, führen diese bei Neustart des kalten Biogasmotors dazu, dass das Turbinenrad auf den Ölkohleablagerungen am Gehäuse aufsitzt und die Welle des Turboladers bricht.

Schwachpunkte in der Praxis:

- unzureichende Kühlung des Bauteils
- unzureichende Schmierung der Turboladerwellen-Lager

- Verschmutzung durch Verbrennungsrückstände insbesondere Ölkohle

Schadensquoten aus den untersuchten Biogasmotoren:

Turbolader : **3,99 %**

4.3 Schmierölkreislauf

Das Schmieröl ist in Biogasmotoren ständig zu überwachen. Aufgrund der im Biogas mitgeführten Störstoffe, insbesondere Schwefelwasserstoff, bilden sich Säuren, die die Funktionsfähigkeit des Schmieröles drastisch reduzieren. Dies führt zu ernststen Schädigungen der Motorlager und in der Folge zu teuren Motorschäden.

Der auch bei normalen Motorverschleiß auftretende Metallabrieb wird vom Schmieröl in Schwebe gehalten und im Schmierölfilter herausgefiltert. Neben der Filterung ist auch die Schmierölkühlung wichtig, da zu hohe Temperaturen ($> 90^\circ$ Celsius) die Additive des Schmieröles rasch an Wirkung verlieren lassen.

Die Schmierölmengen sind serienmäßig in Biogas-BHKWs eher knapp bemessen, sodass das Schmieröl eine hohe thermische und chemische Belastung erfährt. Die wird deutlich gesenkt, wenn die Umlaufmengen um den Faktor 2 bis 2,5 erhöht werden.

Schwachpunkte in der Praxis:

- verschmutzter Ölkühler, schlechte Kühlleistung
- nicht zur Biogasqualität passendes Schmieröl gewählt
- keine permanente Überwachung des Schmieröles (Druck und Temperaturen) sowie regelmäßige Ölanalysen
- eher zu knapp bemessene Schmierölmengen

Schadensquoten aus den untersuchten Biogasmotoren:

Schmierölkreislauf, -Tank, Leckagen : **3,24 %**



4.4. Schwingungsprobleme

Risse des Motorgestells und Kurbelwellenbrüche haben ihre Ursache häufig in unzulässigen Schwingungen des Biogas-BHKWs. Schon bei der Planung und Auslegung von Biogas-BHKWs werden leider viele Fehler begangen:

- bei Raumaufstellung wird das Fundament für Motor und Generator nicht vom übrigen Raumfundament entkoppelt, sodass Motorschwingungen in die Räumwände gelangen und dort Risse verursachen
- bei Containeraufstellung sind Container selbst auf zu kleinen Fundamentstreifen abgestützt, Eigenbewegungen des Containers regen das Gestell selbst zu Schwingungen an.
- Gestelle für Motor und Generator sind zum Teil schwingungsweich ausgeführt, Verschraubungen lösen sich
- Motoren weisen vereinzelt Eigenfrequenzen auf, die der Motorenhersteller zu vertreten und abzustellen hat, und tragen zur Schwingungsbelastung bei.

Im Betrieb verschleißen die Dämpfungselemente mit der Zeit, auf dem das Motor-Generator-Gestell abgestützt ist und bedürfen der regelmäßigen Überprüfung.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *falsch montierte Dämpfungselemente*
- *verspannt eingebaute Kompensatoren*
- *zu weiches Gestell für Motor und Generator*
- *Schwingungsmessung notwendig nach Trennung von Motor und Generator*

5. Motorsteuerung und Motorsensorik

Die Motorsteuerung sorgt für den sicheren Betrieb der Biogas-BHKW-Anlage und unterstützt den Betreiber mit allen notwendigen Betriebsdaten. Für eine rasche und wirksame Fehlersuche sind die Betriebsdaten des Biogasmotors wie auch des Generators unerlässlich.

Die hochgezüchteten Biogasmotoren laufen nur dann zuverlässig, wenn die engen Fenster für Betriebsparameter im Alltag eingehalten werden: Ansauglufttemperatur und Gemischtemperatur, Gemischqualität (Verhältnis Methan im Biogas zur Ansaugluft), Schmieröltemperatur, Kühlwassermenge, Kühlwasserbetriebsdrücke und -Temperaturen sowie Rücklauftemperaturen von angeschlossenen Wärmeabnehmern.

Dies kann und sollte der Betreiber nicht von Hand steuern, sondern durch geeignete Regelungstechnik mit den notwendigen Messwertfühlern und Stellmotoren (Aktuatoren) maschinell rund um die Uhr automatisiert ablaufen lassen. Die heutigen, modernen Motorsteuerungen können dies technisch abbilden.

Aus Kostengründen wird aber nur ein kleiner Teil des Potenziales dieser Motorsteuerungen für einen überwachten Betrieb ausgenutzt. Dies belegen zwei Beispiele:

1. Der Methangehalt des Biogases ändert sich natürlicherweise bei der Produktion im Fermenter. Wird der Methangehalt einmal täglich gemessen, kann leicht der Eindruck entstehen, der Methangehalt verändere sich nur sehr wenig. Dies ist selbst bei gleicher Fütterung der Biogas-Anlage jedoch nicht der Fall. Schon Rührwerksaktivitäten können den Methangehalt um mehrere Prozentpunkte verändern. Wird dann der Gemischregler nicht automatisch nach einer voreingestellten „Rampe“ gemäß Methangehalt verstellt, sodass das Gemisch nicht „abgemagert“ oder zu „fett“ gefahren wird, erhält der Biogasmotor kein optimales Gemisch, was Wirkungsgradeinbußen und erhöhte Temperaturbelastungen zur Folge hat.
2. Motorenhersteller schreiben ein Temperaturfenster für die zulässige Ansauglufttemperatur vor. Gerade in Containeraufstellung entstehen ganz beträchtliche Temperaturschwankungen im BHKW-Betriebsraum über den Jahresablauf, die nicht mit einer manuellen Sommer- und Wintereinstellung ausreichend geregelt werden können. Biogasmotoren dürfen weder zu kalte Ansaugluft (Gefahr zu hohen Ladungsgewichtes mit Klopfgefahr) noch zu warme Ansaugluft ansaugen (ebenfalls Klopfgefahr).

Beide Problembereiche lassen sich technisch mit überschaubarem Aufwand lösen: eine Steuerung des Gemischreglers mit dem Messwertsignal Methangehalt und eine temperaturgeführte Umluftklappensteuerung lösen diese beiden Aufgaben, ohne dass permanente Eingriffe des Bedienpersonals des Biogas-BHKWs notwendig sind.



5.1 Betriebsdatenauswertung

Biogas-BHKWs liefern den Betreibern über die Motorsteuerung heute schon eine Vielzahl aktueller Zustandsdaten. Obwohl diese Daten alle im Systemspeicher der Motorsteuerung abgelegt werden und auch den Serviceunternehmen zur Verfügung stehen, sind manuelle Aufzeichnungen der wichtigsten Betriebsdaten, die für Schadensfrüherkennung relevant sind, sehr angeraten. Nur so entwickelt sich ein Verständnis für die Betriebsdaten des Biogasmotors, die in das zulässige „Fenster“ fallen. Driften die Werte (wie z.B. Betriebs-Temperaturen) langsam aus dem Fenster heraus, kann mit ausreichendem Vorlauf für Instandsetzungsmaßnahmen die Fehlerursache geklärt werden.

Dies ist deshalb so bedeutsam, da moderne Biogas-BHKW-Steuerungen die Anlage solange wie möglich am Netz halten wollen, um die Stabilität des Netzes nicht zu gefährden. Auch wenn einzelne Betriebsparameter des Biogasmotors schon „Unwohlsein“ andeuten, wird der Motor weiter am Laufen gehalten. Dadurch darf sich der Betreiber jedoch nicht in Sicherheit wiegen, es sei ja noch alles in Ordnung.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *kein täglich geführtes Betriebstagebuch für das Biogas-BHKW mit den wichtigsten Betriebsparametern*
- *keine Todo-Liste mit Erledigungsvermerken für anfallende Arbeiten durch den Betreiber am BHKW*
- *provisorische Raum-Temperaturregelungen durch „Pappen“ u. ä..*
- *keine Raumluftfilterung vorhanden, keine Überwachung des Filterzustandes*
- *keine Gemischregleransteuerung durch kontinuierliche Methangehaltsmessung*
- *Startprobleme durch verstellte Nulldruck- und Gemischregler*
- *keine geregelten Lüfterantriebe, daher zu hoher Eigenstromverbrauch*
- *keine geregelten Heizkreis-Wasserpumpen, zu hoher Eigenstromverbrauch*

5.2 Motorsensorik

Damit eine Motorsteuerung wirksam werden kann, ist sie auf Messwerte vom Biogasmotor angewiesen, die Temperatur-, Druck- und Volumenstrom- etc. Messwertaufnehmer am Motor bereitstellen. Diese Bauteile unterliegen ebenfalls Verschleiß, Alterung und sonstiger Defekte, insbesondere auch auf der Datenleitung, die Messwerte verfälschen kann. Wenn Messwerte abrupte Sprünge in der Praxis von einem Tag auf den anderen anzeigen, ohne dass es hierfür eine plausible Erklärung gibt, ist eine Prüfung der Sensoren und der Verkabelung angezeigt.

Aus Kostengründen wird in der Erstausrüstung am BHKW nur das absolute Minimum an Sensoren verbaut. Die erschwert die Transparenz über den Motorzustand und die Fehlersuche. Oft lassen sich weitere Messstellen kostengünstig nachrüsten und in die Motorsteuerung integrieren.



Schwachpunkte in der Praxis:

- *Kabelführung der Sensoren nicht geschützt gegen Schwingungen, scharfe Kanten, Hitze, Elektro-Magnetische Verträglichkeit (EMV-Abschirmung)*
- *Überprüfung der Sensoren auf Mess-Genauigkeit*
- *Ausreichende Ausstattung mit Sensoren für Biogasversorgung, Schmieröl und alle Kühlkreisläufe sowie Filterung und Temperierung der Raumluft*

5.3 Ansteuerung weiterer Funktionen zur Vermeidung von Störungen

Die Steuerschränke bergen die Leistungselektronik sowie die Mess- und Regeltechnik. Die dort auftretenden Temperaturen belasten im Sommer die empfindliche Elektronik, im Winter können sich Kondensate aus der Luftfeuchtigkeit bilden, die zur Korrosion von Kontakten führen und deren einwandfreie Funktion beeinträchtigen.

Daher sind Schaltschränke insbesondere in Containeraufstellung zu klimatisieren: im Sommer zu kühlen und im Winter so zu beheizen, dass sich keine Kondensate bilden können.

Dies betrifft auch den Generator bei Stillstand des Biogasmotors. Der Generator wird im Regelfall zuerst vom Raumlüfter mit Frischluft versorgt, Feuchtigkeit und auch Schmutzpartikel (Staub) setzen sich dann im Gehäuseinneren ab, kondensieren dort bei stillstehendem Generator und sorgen für Rostschäden an den Generatorwicklungen.

Dies lässt sich zuverlässig durch eine Generatorstillstandsheizung verhindern. Moderne Generatoren weisen alle diese Einrichtung auf, sie muss nur an die Motorsteuerung angeschlossen werden. Die Heizleistung ist gering, es soll ja nur das Kondensieren der Luftfeuchtigkeit im Inneren des Generators vermieden werden.

Schwachpunkte in der Praxis:

- *fehlende Klimatisierung der Schaltschränke*
- *nicht angeschlossene Generatorheizung*

Schadensquoten aus den untersuchten Biogasmotoren:

Motorsteuerung : **12,78 %**