

Programm „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ (BWPLUS)

# Forschungsberichtsblatt

## **Gekoppelte Produktion von Kraft und Wärme aus Bio-, Klär- und Deponiegas in kleinen, dezentralen Stirling-Motor-Blockheizkraftwerken**

von:

Hochschule Reutlingen, RRI (Projektleitung)

Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Förderkennzeichen: BWK 25008 - 25010

Bearbeitungszeitraum

1.10.2005 bis 30.11.2008

Die Arbeiten des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.



## Ausführende Stellen

### Hochschule Reutlingen

Prof. Dr. Ing. Bernd Thomas

Dipl.-Ing. Agnes Wyndorps

Alteburgstr. 150

72762 Reutlingen

Tel.: 07121 / 271-7041

Fax.: 07121 / 271-7004

e-mail: bernd.thomas@reutlingen-university.de

### Universität Hohenheim

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Dr. agr. Hans Oechsner

Dr.- Ing. Marina Bekker

Garbenstr. 9

70599 Stuttgart

Tel.: 0711 / 459-22683

Fax.: 0711 / 459-22519

e-mail: oechsner@uni-hohenheim.de

### ZSW Stuttgart

Herr Tobias Kelm

Industriestr. 6

70565 Stuttgart

Tel.: 0711 / 7870-250

Fax.: 0711 / 7870-200

e-mail: tobias.kelm@zsw-bw.de



## Sperrvermerk

Im Rahmen des bw-plus Forschungsprojektes war es nicht möglich, die zu untersuchenden Stirlingmotoren bzw. Mikrogasturbinen zu beschaffen, um an eigenen Geräten Messungen vorzunehmen. Daher waren die Bearbeiter des Projektes darauf angewiesen, für die Untersuchungen Anlagen zu nutzen, die bereits an den jeweiligen Standorten aufgebaut und in Betrieb waren.

Die Mikrogasturbine am Betrieb Karle, die im Rahmen des Projektes für Messungen genutzt wird befindet sich im Besitz der Fa. Greenenvironment GmbH mit Sitz in Charlottenstraße 80 in 10117 Berlin. Die Geräte werden meist in Form eines Brennwert-Konzeptes betrieben. Die Fa. Greenenvironment kauft bei diesem Konzept das Biogas vom Landwirt und der Betrieb der Anlage erfolgt eigenverantwortlich durch die genannte Firma. Greenenvironment hat Untersuchungen durch die Universität Hohenheim mit der Bedingung zugestimmt, dass Veröffentlichungen vorab mit der Firma abgestimmt werden. Eine derartige Abstimmung war vor Abgabe des Abschlussberichtes aus zeitlichen Gründen nicht möglich. Daher bitten wir, auf der Grundlage von Ziffer 10.2 der Verwendungsrichtlinien einen Sperrvermerk für die Veröffentlichung der Daten einzuräumen. Diese Sperre kann nach Prüfung durch die Fa. Greenenvironment und deren Zustimmung zur Veröffentlichung aufgehoben werden.

**Wir bitten, folgende Kapitel des Berichtes und des Forschungsberichtsblattes, in denen neue Erkenntnisse, Ergebnisse und Kommentare zu den Untersuchungen an der Mikrogasturbine enthalten sind bis zur Freigabe durch die Fa. Greenenvironment GmbH zu sperren:**

### Kapitel des Berichtes:

- 1 Zusammenfassung
- 6.4 Biogasanlage Kupferzell
  - 6.4.2 Leistungen und Wirkungsgrade
  - 6.4.3 Schadgase
- 8.1.2 Mikrogasturbine (Fazit)

### Kapitel des Forschungsberichtsblattes

- 1. Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses



## 1. Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses

Zusammenfassend hat sich mit Blick auf die Anlagen mit Stirlingmotor-BHKW gezeigt, dass der nominelle, vom Hersteller angegebene elektrische Wirkungsgrad beim Betrieb mit Biogas und Faulgas nicht erreicht wurde. An der Kläranlage Rosenfeld, an der mit einer Dauer von 2 Jahren am längsten gemessen werden konnte, stellte sich am Ende ein elektrischer Wirkungsgrad von im Mittel 17 % ein; die Herstellerangabe liegt bei 22-24 %, abhängig von der Vor- und Rücklaufemperatur. Ursache für den geringeren Wirkungsgrad an der Kläranlage war zum einen die Tatsache, dass das BHKW aufgrund der zu geringen Klärgasmenge nur in der Teillast betrieben werden konnte. Zum anderen haben der Verschleiß der inneren Dichtungen sowie die Verschmutzung von Erhitzer, Luftvorwärmer und Abgaswärmetauscher zu einem stetigen Absinkenden des Wirkungsgrades geführt. An der Anlage in Großerlach hat sich außerdem die niedrige zulässige Vorlaufemperatur für das verwendete BHKW von 65 °C als nachteilig herausgestellt, da der Betrieb in einem bivalent mit Holzkessel betriebenen Nahwärmenetz auf diese Weise nicht möglich war. Positiv aufgefallen sind dagegen die niedrigen Schadgasemissionen des Stirlingmotor-BHKWs an den verschiedenen Anlagen. Diese konnten durch eine Messung der LUBW, die an der Kläranlage Rosenfeld im Rahmen des Projektes vorgenommen wurde, bestätigt werden. Dabei wurden mit 25 mg/Nm<sup>3</sup> CO und 54 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> (jeweils bezogen auf 5% Rest-O<sub>2</sub> im Abgas) nicht nur äußerst niedrige Werte für Klärgas-BHKW bestimmt, sondern es konnten zudem keine unverbrannten Kohlenwasserstoffe und keine Aldehyde, insbesondere kein Formaldehyd, im Abgas des Stirlingmotors nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis hat die prinzipielle Eignung und Vorteilhaftigkeit von Stirlingmotor-BHKW im Betrieb an Klär- und Biogasanlagen hinsichtlich der Schadgasemissionen bestätigt. Ebenso konnte im Betrieb mit Grubengas am IZES das Potenzial zur Verwendung von Gasen mit extrem niedrigem Methangehalt nachgewiesen werden, in dem das BHKW mit Grubengas mit einem Methangehalt zwischen 32 und 36 % sicher und stabil betrieben werden konnte.

Das Monitoring der Mikrogasturbine an der Biogasanlage in Kupferzell hat ebenfalls gezeigt, dass die prognostizierten Werte für den elektrischen Wirkungsgrad nicht erreicht werden konnten. Beim Betrieb mit Biogas wurde bei Volllastbetrieb ein elektrischer Wirkungsgrad von 25,8 % erzielt. Nach Herstellerangaben sollte ein elektrischer Wirkungsgrad von 30 % erreicht werden. In diesem Wert ist der Energiebedarf für die Verdichtung und Konditionierung des Biogases nicht eingerechnet. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Aufbereitung des Biogases sinkt der elektrische Wirkungsgrad des gesamten BHKW-Systems ab. Im Teillastbereich waren sogar noch weiter gesenkte Wirkungsgrade zu beobachten, was auf die schlechte Regelbarkeit der Verdichter zurückzuführen war. Allerdings wurde die Peripherie für zwei Mikrogasturbinen mit insgesamt 130 kW elektrische Leistung ausgelegt. Der Verdichter war bei der Wirkungsgradmessung, die an nur einer Turbine durchgeführt wurde, stark überdimensioniert. Die Fa. Greenenvironment GmbH arbeitet an der Optimierung der Peripherie, so dass zukünftig mit geringeren Wirkungsgradverlusten für die Konditionierung des Biogases gerechnet werden kann.

Positiv bei der Anlage war zu verzeichnen, dass die gemessenen Schadgaskonzentrationen im Abgas sehr niedrig waren. Darüber hinaus lag die komplette Abwärme im Abgas und hatte je nach Laststufe eine Temperatur im Bereich von 238 bis zu 293 °C. Im Besonderen lag die NO<sub>x</sub> -Konzentration im Abgas in allen Leistungsstufen bei einem niedrigen Wert unter 6 mg/Nm<sup>3</sup> (bezogen auf 15 Rest-O<sub>2</sub> im Abgas). Die CO-Konzentration verringerte sich mit der Erhöhung des produzierten elektrischen Stroms und erreichte beim Volllastbetrieb einen sehr niedrigen Wert von 21 mg/Nm<sup>3</sup> (bezogen auf 15 Rest-O<sub>2</sub> im Abgas). Aus den oben genannten Gründen ist es zu empfehlen, die Mikrogasturbine im Volllastbetrieb zu betreiben.

Da die Abgasqualität aufgrund der hohen Lambdawerte deutlich besser als bei Kolben-Verbrennungsmotoren ist, kann das Abgas noch gut für weitere Zwecke verwendet werden. An der Anlage in Kupferzell wird das Abgas nach Zumischung von Luft und damit Reduzierung der Temperatur zur Trocknung von Gärrest aus der Biogasanlage genutzt. Hierbei wird ein relativ hoher thermischer Wirkungsgrad erreicht, da kein Wärmetausch über ein Kühlsystem erfolgen muss. Die Mikrogasturbine selbst erwies sich als relativ störungsunempfindlich und wartungsarm. Lediglich im Bereich der BHKW-



Peripherie traten Störungen auf. Somit konnte dieses verschiedentlich vorgeschlagene Konzept im Rahmen des Projektes praktisch begleitet werden. Da die Größe der hier untersuchten Mikrogasturbine mit 65 kW elektrischer Leistung für heutige Praxisbiogasanlagen in der Regel zu klein ist, könnten die Einsatzmöglichkeiten und auch die Betriebsbedingungen bei größeren Systemen (z.B. mit 200 kW) verbessert werden.

Aufgrund der im Vergleich zum Verbrennungsmotor-BHKW sehr hohen thermischen Wirkungsgrade der Mikrogasturbine ist ein Einsatz an Betrieben mit hohem Wärmebedarf und vor allem mit Wärmebedarf für Trocknungszwecke zu empfehlen.

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse und Potenzialabschätzung wird im Bericht aufgezeigt, welcher Größenbereich und welche Anzahl Klär- und Biogasanlagen für den Betrieb von kleinen Stirlingmotor-BHKW und Mikrogasturbinen in Frage kommen. Mit Blick auf das eingesetzte Stirlingmotor-BHKW der Firma SOLO Stirling bietet sich ein Einsatz an Kläranlagen in den Größenklassen 2 und 3 (1.000 bis 10.000 Einwohnerwerte) an. Unter der Voraussetzung, dass der vom Hersteller angegebene elektrische Wirkungsgrad von 22 % an den Anlagen erreicht wird, sich eine jährliche Betriebszeit von über 7.000 Stunden einstellen lässt und die bereitgestellte Wärme vollständig genutzt werden kann, ist dieser Betrieb wirtschaftlich und vorteilhaft im Vergleich zum Einsatz von Gas-Ottomotor-BHKW. Für Biogasanlagen ist die Leistung des Stirlingmotor-BHKWs dagegen zu klein. Es besteht aber die Möglichkeit, das BHKW zur Beheizung des Fermenters einzusetzen. Hier läge zum einen keine Beschränkung hinsichtlich der einzustellenden Vorlauftemperatur vor, und die thermische Leistung des BHKWs würde zum anderen ausreichen, um den Fermenter einer Biogasanlage mit ca. 100 – 150 kW<sub>el</sub> zu beheizen. Der Vorteil dieser Variante wäre dadurch gegeben, dass das Haupt-BHKW räumlich von der Biogasanlage getrennt aufgestellt werden könnte, was die Möglichkeiten zur Wärmenutzung wesentlich verbessert. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung sieht diesen Einsatz des Stirlingmotor-BHKWs aufgrund der zusätzlichen Stromerzeugung vorteilhaft gegenüber der Fermenterbeheizung mit Hilfe eines Biogasbrenners.

Der Einsatz von Mikrogasturbinen an Kläranlagen ist unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit ebenfalls prinzipiell gegeben. Wichtig ist dabei jedoch ein schlüssiges Wärmenutzungskonzept, das sich beispielsweise auf die Klärschlamm-trocknung beziehen kann. Sinnvolle Anlagengrößen wären Kläranlagen mit 10.000 bis 100.000 Einwohnerwerten. In ähnlicher Weise gestaltet sich das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Blick auf den Einsatz an Biogasanlagen in der Größenordnung von 100 – 150 kW<sub>el</sub>. Hier ist die Wärmenutzung ebenfalls grundlegende Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb. Die Gärresttrocknung mit Hilfe der heißen Abgase der Mikroturbine, wie an der Anlage in Kupferzell praktiziert, stellt dabei eine gute Möglichkeit dar, die im Vergleich zum Zündstrahlmotor trotz des geringeren elektrischen Wirkungsgrades der Mikroturbine vorteilhaft ist. Dabei wirkt sich insbesondere der geringere Wartungsaufwand beim Betrieb einer Mikrogasturbine positiv aus.

Der Einsatz von Stirlingmotor-BHKW und Mikrogasturbinen an Deponien, der im Rahmen der Wirtschaftlichkeits- und Potenzialabschätzung ebenfalls untersucht wurde, ergibt hingegen keinen Vorteil. Ursächlich verantwortlich dafür sind vergleichsweise geringen elektrischen Wirkungsgrade von Stirling-BHKW und Mikrogasturbine sowie die zurückgehenden Gaserträge auf den Deponien, die keine ausreichende Auslastung der BHKW ermöglicht und damit aufgrund der geringeren Investitionskosten eher für den Einsatz Motor-BHKW sprechen, die ein besseres Verhältnis von Stromertrag zu Investitionskosten aufweisen.



## 2. Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Im Bereich der Anwendung von Stirlingmotor-BHKW an Klär- und Biogasanlagen lassen sich zwei technische Fortschritte wie folgt festmachen:

- Im Betrieb mit Brenngasen, die einen stark schwankenden und eine teilweise sehr niedrige Methan-Konzentration aufweisen, konnte die prinzipielle Eignung von Stirlingmotor-BHKW unter Beweis gestellt werden. Im Rahmen von stationären Prüfstandstests mit Grubengas mit Methankonzentrationen von 32 – 36% konnten die gleichen Leistungsdaten am SOLO Stirling BHKW gemessen werden wie in ähnlichen Prüfstandsversuchen mit Erdgas. Daraus lässt sich ableiten, dass geringe Methangehalte von der  $\lambda$ -Regelung am Brenner eines Stirlingmotor-BHKWs abgefangen werden können, so dass keine Rückwirkungen auf den Betrieb verbleiben und das Gerät auch bei extrem niedrigen Methangehalten sicher betrieben werden kann. Erwähnenswert ist weiterhin, dass sich das installierte Stirlingmotor-BHKW auch bei Methangehalten knapp unterhalb von 30 Vol.-% problemlos starten ließ, was vorteilhaft beispielsweise gegenüber Motor-BHKW ist.
- Äußerst positiv sind die Abgasemissionen des Stirlingmotor-BHKW an den verschiedenen Standorten aufgefallen. Diese sind zudem durch eine von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) [LUBW] vorgenommene Vergleichsmessung bestätigt worden. Dabei konnten im Betrieb mit Klärgas im Rahmen einer nach TA-Luft durchgeführten Messung CO-Emission unterhalb von 35 mg/Nm<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub>-Emissionen von max. 16 mg/Nm<sup>3</sup> und NO<sub>x</sub>-Emissionen unterhalb von 59 mg/Nm<sup>3</sup> bestätigt werden (jeweils als ½h-Mittelwerte bezogen auf 5% Rest-O<sub>2</sub> im Abgas) [TA-Luft]. Des Weiteren ist das Abgas auf Gesamtkohlenstoff, anorganische Fluoride und Chloride sowie Aldehyde untersucht worden, mit dem Ergebnis, dass die Emissionen all dieser Stoffe unterhalb der Nachweisgrenzen lagen. An dieser Stelle bieten Stirlingmotor-BHKW aufgrund ihrer kontinuierlichen Verbrennung einen erheblichen Vorteil gegenüber Gas-Ottomotor-BHKW, bei denen die Emissionen an Gesamtkohlenstoff und insbesondere Formaldehyd deutlich höher liegen. Teilweise kommt es hier sogar zu einer Überschreitung des Grenzwertes für Formaldehyd nach TA-Luft von 60 mg/Nm<sup>3</sup>.

Im Hinblick auf die Mikrogasturbine sind die technischen Fortschritte wie folgt zusammenzufassen:

- Ebenfalls positiv zu verzeichnen waren hier die sehr niedrigen Schadgaskonzentrationen im Abgas. Im Besonderen lag die NO<sub>x</sub>-Konzentration im Abgas in allen Leistungsstufen bei einem niedrigen Wert unter 6 mg/Nm<sup>3</sup> (bezogen auf 15 Rest-O<sub>2</sub> im Abgas). Die CO-Konzentration verringerte sich mit der Erhöhung der produzierten elektrischen Leistung und erreichte beim Volllastbetrieb einen sehr niedrigen Wert von 21 mg/Nm<sup>3</sup> (bezogen auf 15 Rest-O<sub>2</sub> im Abgas). Aus den oben genannten Gründen ist es zu empfehlen, Mikrogasturbinen im Volllastbetrieb zu betreiben.
- Als weiteren Fortschritt beim Einsatz der Mikrogasturbine können die besseren Möglichkeiten der Abwärmenutzung angesehen werden, die im vorliegenden Projekt am Beispiel der Gärresttrocknung verifiziert werden konnte. Bei Mikrogasturbinen liegt die komplette Abwärme im Abgas vor und hat je nach Laststufe eine Temperatur im Bereich von 238 bis zu 293 °C. Da die Abgasqualität aufgrund der hohen Lambdawerte deutlich besser als bei Kolben-Verbrennungsmotoren ist, kann das Abgas beispielsweise nach Zumischung von Luft zur Reduzierung der Temperatur direkt zur Trocknung von Gärrest aus der Biogasanlage genutzt werden. Hierbei wird ein relativ hoher thermischer Wirkungsgrad erreicht, da kein Wärmeaustausch über ein Kühlsystem erfolgen muss.
- Der sehr geringe Wartungsaufwand der Mikrogasturbine aufgrund der Bauweise als luftgelagerte Einwellenmaschinen hat sich im Projekt ebenfalls bestätigt.



Die Fortschritte im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse lassen sich wie folgt darstellen:

- Es hat sich gezeigt, dass das betrachtete Stirlingmotor-BHKW mit 9 kW<sub>el</sub> an Kläranlagen in den Größenklassen 2 und 3 (1.000 bis 10.000 Einwohnerwerte) wirtschaftlich und vorteilhaft im Vergleich zum Einsatz von Gas-Ottomotor-BHKW betrieben werden kann. Voraussetzung dafür ist jedoch die Einhaltung des vom Hersteller angegebenen elektrischen Wirkungsgrades von 22%, einer jährlichen Betriebszeit von 7000 Stunden bei Volllast und einem schlüssigen Wärmenutzungskonzept.
- Für den Einsatz an Biogasanlagen wird das neuartige Konzept der Fermenterbeheizung mit Hilfe eines Stirlingmotor-BHKWs vorgeschlagen. Hier würde die thermische Leistung des untersuchten Stirlingmotor-BHKWs mit 9 kW<sub>el</sub> ausreichen, um den Fermenter einer Biogasanlage mit ca. 100 – 150 kW<sub>el</sub> zu beheizen. Der Vorteil dieser Variante wäre dadurch gegeben, dass das Haupt-BHKW räumlich von der Biogasanlage getrennt aufgestellt werden könnte, was die Möglichkeiten zur Wärmenutzung wesentlich verbessert. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung sieht diesen Einsatz des Stirlingmotor-BHKWs aufgrund der zusätzlichen Stromerzeugung vorteilhaft gegenüber der Fermenterbeheizung mit Hilfe eines Biogasbrenners.
- Der wirtschaftliche Einsatz von Mikrogasturbinen an Klär- und Biogasanlagen konnte im Rahmen des Projektes ebenfalls bestätigt werden. Als wichtig hat sich dabei jedoch ein schlüssiges Wärmenutzungskonzept herauskristallisiert, dass sich beispielsweise auf die Klärschlamm- oder die Gärresttrocknung beziehen kann. Sinnvolle Anlagengrößen wären Kläranlagen mit 10.000 bis 100.000 Einwohnerwerten. Bei Biogasanlagen ist ein wirtschaftlicher Einsatz in der Größenordnung von 100 – 150 kW<sub>el</sub> möglich. Hier konnte die Wärmenutzung zur Gärresttrocknung mit Hilfe der heißen Abgase der Mikroturbine konkret als sinnvolle Variante untersucht und verifiziert werden. Dabei hat sich die Mikrogasturbine im Vergleich zum Zündstrahlmotor trotz des geringeren elektrischen Wirkungsgrades als vorteilhaft erwiesen, was insbesondere auf den geringeren Wartungsaufwand beim Betrieb einer Mikrogasturbine zurückzuführen ist.

### 3. Welche Empfehlungen ergeben sich aus den Forschungsergebnissen für die Praxis?

Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Empfehlungen zur Förderung der Technologien ableiten:

- Durch die Insolvenz des Herstellers SOLO-Stirling verliert Baden-Württemberg an Know-how und innovativer Wertschöpfung. Vor diesem Hintergrund ist eine gezielte Wirtschaftsförderung für innovative Energiewandlungsverfahren im Land gefordert.
- Im Anwendungsgebiet Kläranlagen wird die Förderung von geeigneten Objekten vorgeschlagen, worauf v.a. auf das passende „Window of Opportunity“ Wert gelegt werden muss: soll z.B. die Ölbeheizung eines Faulturms ausgetauscht werden, bietet dies die ideale Möglichkeit zur Umstellung auf eine Mikrogasturbine oder ein Stirling-BHKW. Wegen der Investitionsmehrkosten gegenüber dem Einsatz eines konventionellen Motor-BHKW wird eine Förderung eines Teils der Investitionsmehrkosten vorgeschlagen.
- Für den Einsatz von Stirling-BHKWs und Mikrogasturbinen in Deponien ist keine spezifische Förderung notwendig, da sich für dieses Einsatzgebiet konventionelle Motor-BHKWs besser eignen: die abnehmende Auslastung durch die abnehmende Deponiegasmenge sowie das Fehlen von Wärmesenken verlangt nach einem hohen Stromwirkungsgrad sowie geringen spezifischen Investitionskosten. Mikrogasturbinen und Stirling-BHKWs eignen sich somit nicht für dieses Einsatzgebiet und bedürften für diesen Anwendungsfall keiner Förderung.

Des Weiteren kann im Rahmen der Bearbeitung des vorliegenden Forschungsvorhabens weiterer Forschungsbedarf wie folgt attestiert werden:



- Im Bereich der Stirling-BHKWs wird vorgeschlagen, die wissenschaftliche Begleitung eines Pilotprojekts zu fördern. Da das Konzept eines Stirling-BHKWs zur Beheizung des Fermenters einer Biogasanlage bislang noch nicht realisiert wurde, erscheint eine Förderung und wissenschaftliche Begleitforschung für dieses Konzept sinnvoll.
- Im Bereich der Mikrogasturbinen gibt es bereits einen ersten Anbieter, der mit seinem Geschäftskonzept einige Turbinen an Biogasanlagen in Deutschland realisiert hat. Vor dem Hintergrund eines umfassenden Monitorings einer solchen Anlage, welches teilweise im vorliegenden Projekt durchgeführt wurde, ist es ratsam, eine Demoanlage einschließlich eines umfassenden Wärmenutzungskonzepts zu fördern. Zusätzlich wird vorgeschlagen, die wissenschaftliche Begleitung zu fördern, um unabhängige und langfristige Betriebsdaten zu den Mikrogasturbinen zu erhalten.
- Verbesserung der Datenbasis im Bereich Kläranlagen: Angaben zur Strom- und Wärmeverbrauchsstruktur in typischen Größenordnungen von Kläranlagen sind nicht verfügbar. Darüber hinaus werden keine Angaben zur installierten Strom- und Wärmeerzeugungsleistung abgefragt. Vor diesem Hintergrund wird die Förderung einer Studie vorgeschlagen, die den Kläranlagenbestand in Baden-Württemberg detailliert untersucht und damit eine verbesserte Datenbasis zur installierten Leistung sowie zur Strom- und Wärmeverbrauchsstruktur schafft.
- Eine interessante Anlagenkonfiguration, die im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht werden konnte, stellt ein mit Biogas gespeistes Mikrogasnetz mit dezentralen Stirling-BHKWs zur Gebäudebeheizung dar. Diese Anlagenkonfiguration sollte einem Vergleich mit einer Anlage mit einem zentralen BHKW, das über eine Rohgasleitung mit Biogas gespeist wird, unterzogen werden.
- Die oftmals betonte geringe Leistung der Stirling-BHKWs ist keinesfalls prinzipbedingt. Es ist durchaus möglich, Stirlingmotoren mit Leistungen von 100 kW<sub>el</sub> und mehr zu bauen, wie der Einsatz von Stirlingmotoren in U-Booten und Bussen zeigt. Die Adaption auf Schwachgase ist in dieser Leistungsklasse bisher allerdings noch nicht erfolgt. Mit Blick auf die Problematik der erhöhten Schadgasemissionen bei Motor-BHKW, und hier seien insbesondere die Formaldehydemissionen genannt, erscheint es sinnvoll, entsprechende Projekte zu initiieren und zu fördern.