



Betrieb einer ORC-Mikrogasturbinenanlage zur Verwertung von Deponiegas auf der Deponie Sinsheim

-Abschlussbericht-

Abfallverwertungsgesellschaft
des Rhein-Neckar-Kreis mbH
Muthstraße 4
74889 Sinsheim
Info@avr-rnk.de

10. August 2010

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| | Inhaltsverzeichnis | 2 |
| 1 | Veranlassung..... | 3 |
| 2 | Mikrogasturbinen | 4 |
| 2.1 | ORC-Technologie..... | 5 |
| 2.2 | Wirkungsgrad einer Mikrogasturbine..... | 6 |
| 3 | Ausgangssituation Deponie Sinsheim..... | 7 |
| 4 | Beschreibung der Mikrogasturbinenanlage auf der Deponie Sinsheim | 9 |
| 4.1 | Veranlassung für die Installation einer Mikrogasturbine | 9 |
| 4.2 | Realisierung der Anlage..... | 11 |
| 5 | Testbetrieb Sinsheim | 13 |
| 5.1 | Ziel der Messungen | 13 |
| 5.2 | Anlage | 14 |
| 5.3 | Resultate | 15 |
| 5.3.1 | Anfahren der Anlage..... | 15 |
| 5.3.2 | Erläuterung | 15 |
| 5.3.3 | Start bei höchster Energie | 16 |
| 5.3.4 | Erläuterung | 16 |
| 5.4 | Folgerung | 16 |
| 6 | Abgasüberwachung | 17 |
| 7 | Auswertung..... | 18 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick | 20 |
| 9 | Abbildungsverzeichnis | 21 |

1 Veranlassung

Die heutige Gesetzeslage sieht vor, dass seit dem 01.06.2005 keinerlei organische Reststoffe mehr auf Deponien eingebaut werden dürfen. Die bis zu diesem Zeitpunkt auf zahlreichen Deponien abgelagerten organischen Abfälle bilden durch Zersetzung Gase, die hauptsächlich aus Methan und CO₂ bestehen und durch ein Absaugsystem erfasst werden. Da diese Gase als Treibhausgase gelten und somit einen negativen Einfluss auf die Umwelt haben, dürfen sie nicht unbehandelt in die Atmosphäre entlassen werden. Oftmals wird das Methan über eine Fackel verbrannt.

Eine energetische Nutzung des Methans ist mittlerweile auch möglich, denn es ist noch über mehrere Jahre eine Gasproduktion zu erwarten. Über die Zeit ist allerdings mit einem zunehmend schwankenden Methangehalt und einer generell sinkenden Gasproduktion zu rechnen.

Unter diesen Bedingungen hat sich bei mehreren Deponien der Einsatz von Mikrogasturbinen als günstig erwiesen, da diese auch mit schwankenden Methankonzentrationen einen zuverlässigen Betrieb gewährleisten. Zudem kann hierdurch eine gleichzeitige Reduzierung der Luftschadstoffe im Vergleich zur Verwertung durch eine Fackel erreicht werden.

Um die energetische Nutzung des Deponiegases weiterzuführen, kann zusätzlich noch das heiße Abgas der Mikrogasturbine thermisch genutzt werden. Eine neue Entwicklung in diesem Bereich stellt die Verwendung eines ORC-Systems dar, bei dem die heißen Abgase nochmals zusätzlich zur Stromerzeugung genutzt werden.

Diese innovative Lösung sollte bei der AVR GmbH an der Deponie in Sinsheim errichtet werden. Unterstützung erhielt die AVR GmbH durch eine Förderung des Umweltministeriums Baden-Württemberg, die sich durch diesen Einsatz wichtige Erkenntnisse für den Einsatz von ORC-Systemen auf weiteren Deponien versprach.

Der folgende Bericht soll dieses Projekt erläutern und die gesammelten Erfahrungen für ähnliche Vorhaben zur Verfügung stellen.

2 Mikrogasturbinen

Als Mikrogasturbinen bezeichnet man kleine, schnell laufende Gasturbinen mit niedrigen Brennkammerdrücken und -temperaturen in der Leistungsklasse von 20 bis 500 kW_{el}. Sie basieren auf der Tuboladertechnologie und den aus der Luftfahrt bekannten Hilfsantrieben (APU: Auxilliary Power Units) und bestehen im Wesentlichen aus den Komponenten Verdichter, Brennkammer, Turbine und Generator.

Im Gegensatz zur Kraftwerksgasturbine werden bei Mikrogasturbinen häufig Rekuperatoren zur Vorwärmung der Verbrennungsluft eingesetzt.

Der Rekuperator dient zur internen Luftvorwärmung, wodurch diese kleinen Aggregate elektrische Wirkungsgrade von 25 - 30 % erreichen.

Die Luft tritt in den Generator ein und wird von dort zum Radialverdichter weitergeleitet, gleichzeitig wird auf diese Weise der Generator gekühlt. Die angesaugte Luft wird im Radialverdichter auf etwa 4 bar Überdruck komprimiert. Der Rekuperator nutzt die Wärmeenergie aus den Turbinenabgasen und erwärmt damit die Verdichteraustrittsluft, bevor sie in die Brennkammer gelangt. Der Brennstoff wird in die Brennkammer eingedüst und dort verbrannt. Die heißen Verbrennungsgase werden in der Turbine entspannt und treiben so Verdichter und Generator an. Einen Teil ihrer Wärmeenergie geben die Abgase im Rekuperator an die Verbrennungsluft ab und verlassen dann die Mikrogasturbine durch den Abgasauslass in Richtung Abgaswärmetauscher bzw. Kamin.

Mikrogasturbinen werden im Vergleich zu herkömmlichen Gasturbinen mit hohen Luftüberschüssen von $\lambda = 6 - 8$ betrieben.¹

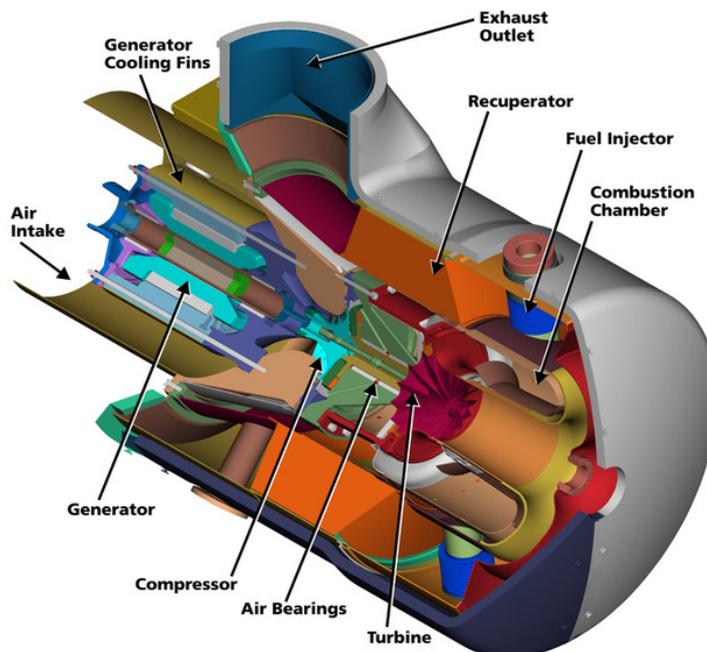


Abbildung 1: Aufbau einer Mikrogasturbine^[1]

¹ „Umgang mit Schwachgas – Optimierung der Entgasung und Techniken zur Verwertung und Behandlung“, S. 23, Johann Roth

2.1 ORC-Technologie

„Organic Rankine Cycle“ (ORC) steht für die Verdampfung und Rückkühlung eines organischen Mediums zur Erzeugung von Strom und Wärme.

Eine ORC-Anlage wird meistens mit einem organischen Arbeitsmedium hoher Molekülmasse betrieben, in der Regel Thermoöl. Es kann aber auch, wie in einem normalen Dampfturbinen-Kreisprozess, Wasser eingesetzt werden. Ziel ist es, dass Wärmequellen mit niedriger Temperatur zur Erzeugung von Strom genutzt werden können.

Der durch Wärme aus Restwärmequellen – beispielsweise Abgase von Gasmotoren oder Gasturbinen – freigesetzte Energieinhalt wird in einen geschlossenen Kreislauf geführt. Der durch das Verdampfen des organischen Mediums entstehende Dampfdruck wird über eine Entspannungsturbine zunächst in mechanische Drehenergie und dann über einen Generator in elektrische Energie umgesetzt. Durch die verfahrensbedingte Rückkühlung wird das Medium wieder flüssig. Über eine Pumpe im Arbeitskreislauf wird das flüssige Arbeitsmedium wieder dem Verdampfer zugeführt, womit der Kreislauf geschlossen wird.²

Der ORC-Prozess schematisch dargestellt:

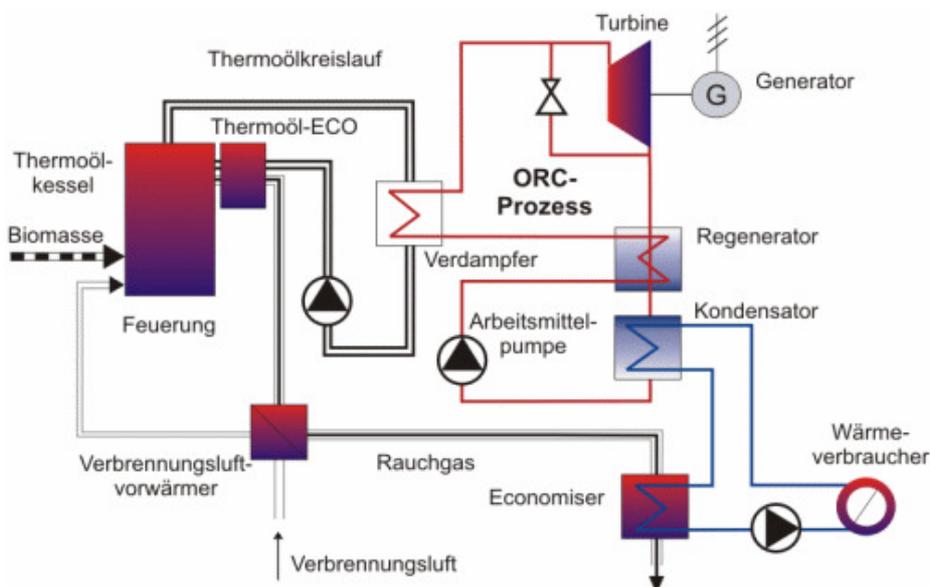


Abbildung 2: Beispiel eines ORC-Prozesses ^[2]

² „Schlussbericht ORC-Betrieb mit Mikrogasturbine auf der Deponie Sinsheim“, S. 8, 2.2 ORC-Technologie, ACRONA SYSTEMS

2.2 Wirkungsgrad einer Mikrogasturbine

Der elektrische Wirkungsgrad beträgt ohne Nachschaltung eines ORC-Prozesses je nach Turbinengröße 26 bis 32,5 %.

Durch Nachschaltung eines ORC-Prozesses können ca. 15 % der Abwärmeenergie der Mikrogasturbine zusätzlich in Strom umgewandelt werden.

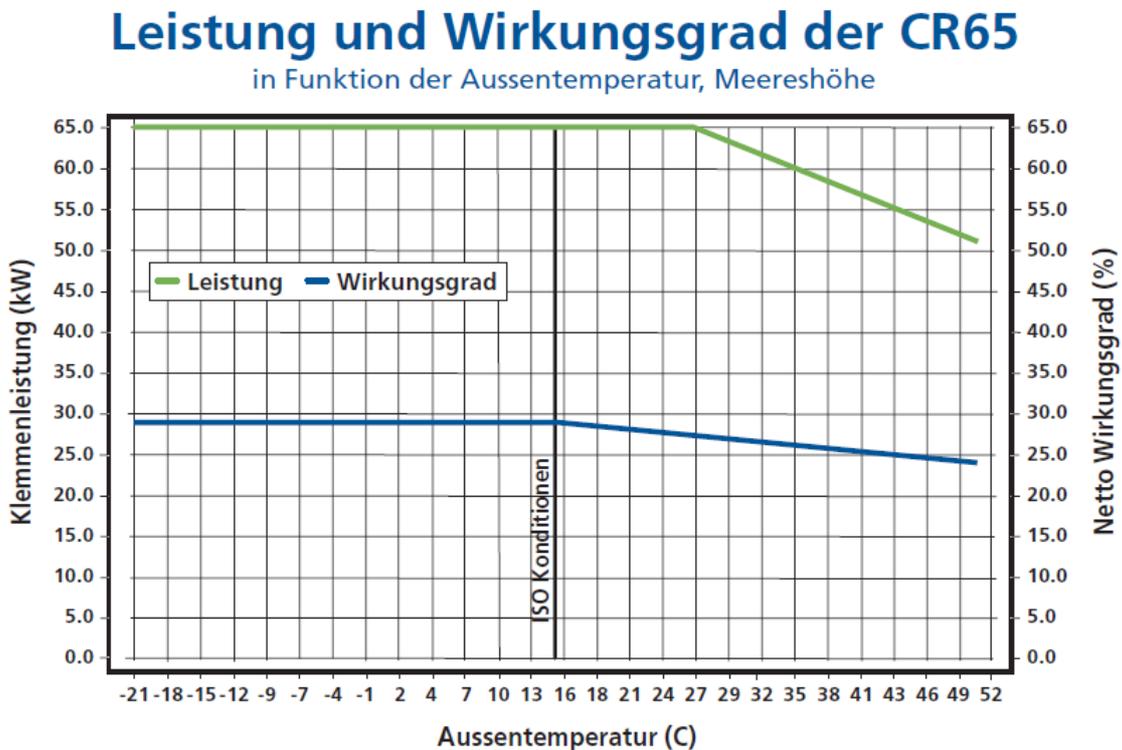


Abbildung 3: Leistung und Wirkungsgrad einer Mikrogasturbine ^[3]

3 Ausgangssituation Deponie Sinsheim

Die Abfallverwertungsgesellschaft des Rhein-Neckar-Kreises mbH (AVR) betreibt im Auftrag des Rhein-Neckar-Kreises (RNK) das Abfallentsorgungszentrum (AEZ) Sinsheim, und hier die Deponie Sinsheim (gelegen auf Gemarkung Sinsheim, Gewinn Saugrund an der B292).

Die Deponie wurde ursprünglich 1978 durch den RNK eröffnet. Im Zuge der Gründung der AVR im Jahre 1991 ging der Betrieb an die AVR über.

Auf der Deponie wurden überwiegend Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Sperrmüll, Straßenkehricht, Marktabfälle, Garten- und Parkabfälle, Bauschutt, Straßenaufbruch, Mineralfaserabfälle, Asbestzement, Bodenaushub (bindiges und zum überwiegenden Teil toniges Material), Klärschlamm und andere Schlämme, Rechengut und ähnliches abgelagert. Seit 1997 beschränkt sich die Ablagerung auf inertes Material gemäß Klasse II der TA Siedlungsabfall.



Abbildung 4: Übersicht der Deponie Sinsheim ^[4]

Die im Deponiekörper durch Zersetzungsprozesse der organischen Reststoffe anfallenden Deponiegase wurden durch eine Erfassungsanlage gesammelt und anschließend über eine Niedertemperaturfackel verbrannt. Eine weitergehende Nutzung des Deponiegases war nicht vorhanden.

**Betrieb einer ORC-Mikrogasturbinenanlage
zur Verwertung von Deponiegas
auf der Deponie Sinsheim
Abschlussbericht**

Für die derzeitige und zukünftige Entsorgung oder Nutzung des noch in der Deponie Sinsheim entstehenden und zu entsorgenden Deponiegases wurden unterschiedliche Gasprognosen auf Grundlage von Gasbilanzierungen, FID-Messungen und Gasprognoseberechnungen erstellt.

Das Ergebnis wurde über Absaugversuche überprüft und entsprechend den erreichten Ergebnissen angepasst.

Danach ist für die nächsten fünf Jahre folgende Gasmenge auf der Deponie Sinsheim noch erfassbar und damit zu entsorgen:³

- 90 Nm³/h
- 50 bis 38 Vol. % CH₄ (sinkende CH₄-Konzentration durch nicht vermeidbaren Luftzutritt über die Zeit)
- Brennstoffleistung: 450 kW bis 340 kW (nach 5 Jahren)

³ „Deponiegasverwertungsanlage auf dem Abfallentsorgungszentrum (AEZ) Sinsheim – Antrag auf BlmSch-Genehmigung“, AVR GmbH 24.03.2010

4 Beschreibung der Mikrogasturbinenanlage auf der Deponie Sinsheim

4.1 Veranlassung für die Installation einer Mikrogasturbine

Die bisherige Verwertung des Deponiegases über eine Niedertemperaturfackel entspricht nicht mehr dem Stand der Technik. Da die Vorgaben der TA-Luft nur noch unzureichend eingehalten werden konnten, musste eine neue, umweltgerechte Verwertungsmethode gefunden werden.

Auf deutschen Deponien darf seit dem 01.06.2005 kein organischer Abfall mehr deponiert werden, deshalb ist davon auszugehen, dass die Gasproduktion, ebenso wie der Methangehalt, mit der Zeit sinken wird. Auf der Deponie Sinsheim werden bereits seit 1997 keine organischen Abfälle mehr abgelagert, was bedeutet, dass die Gasproduktion wie auch der Methangehalt bereits stark zurückgegangen sind und sich seit einigen Jahren auf einem gleichbleibenden Niveau eingespielt haben. Um einen möglichst langen Betrieb der neuen Anlage zu garantieren, muss eine Technik gewählt werden, die auch mit schwankenden Gaskonzentrationen zurechtkommt.

Hierbei hat sich in einer Variantenuntersuchung ergeben, dass der Einsatz einer Mikrogasturbine am Besten geeignet ist.

Folgende Punkte waren ausschlaggebend bei der Entscheidung für die Verbrennung und Nutzung des Deponiegases durch eine Mikrogasturbine:

- Verwertung des Deponiegases auch bei den vorhandenen niedrigen Gasmengen und Gaskonzentrationen sowie den schwankenden Werten
- Sehr hohe Verfügbarkeit der Anlage (8500 Betriebsstunden pro Jahr)
- Sehr niedrige Emissionswerte (weit unter denen einer Hochtemperaturfackel)
- Niedriger Wartungs- und Betriebsaufwand
- Sichere, erprobte Technik
- Sehr gute Möglichkeit der Wärmeauskopplung
- Sehr gute Betriebserfahrung aus der Anlage „Deponie Eichelbruck“

Beim Betrieb von Mikrogasturbinen entsteht durch den Verbrennungsprozess auch immer eine Menge an Abwärme. Diese kann durch angrenzende Einrichtungen genutzt werden (KWK) oder muss bei Nichtabnahme rückgekühlt werden.

Da auf der Deponie in Sinsheim keine sinnvolle Nutzung der Abwärme besteht, es aber dennoch erstrebenswert ist diese Energie zu verwerten, bot sich als Lösung die Nachschaltung eines ORC-Prozesses an.

Die Kombination des ORC-Prozesses mit Mikrogasturbinen dieser Größe war bisher nicht wirtschaftlich realisierbar. Es gibt somit keine bestehenden Referenzanlagen, jedoch arbeiten die Hersteller im Moment verstärkt daran Lösungen für eine solche Anlage zu entwickeln, da eine deutliche Erhöhung des Wirkungsgrades möglich wäre.

Das Hauptproblem liegt darin, dass die Restwärme der BHKW für die bisherigen ORC-Systeme auf einem zu tiefen Temperaturniveau liegt. Dadurch ist der Wirkungsgrad im Vergleich zur Nutzung eines hohen Temperaturniveaus gering, so dass sich in Relation zum hohen Investitionspreis keine wirtschaftliche Investitionsmöglichkeit ergibt.

**Betrieb einer ORC-Mikrogasturbinenanlage
zur Verwertung von Deponiegas
auf der Deponie Sinsheim
Abschlussbericht**

Um dem entgegenzuwirken wird als Innovation das Thermoöl als Arbeitsmittel durch Wasser ersetzt. Damit soll erreicht werden, dass durch den Einsatz konventioneller Komponenten für den Einsatz im Wasser-Dampf-Kreislauf die Investitionen für spätere kommerzieller Anlagen signifikant gesenkt werden können. Außerdem soll diese Maßnahme bewirken, dass der tiefere Carnot-Wirkungsgrad (über)kompensiert wird und mehr Abwärme genutzt wird.

Durch die Realisierung dieser innovativen Lösung (Versuchsanlage) sollte die Möglichkeit eröffnet werden, dass in Zukunft auch weitere Deponien von dieser Technik profitieren können.

4.2 Realisierung der Anlage

Im Frühjahr 2008 wurde mit den Arbeiten der neuen Anlage begonnen.

Die Entscheidung bei den Mikrogasturbinen fiel aus wirtschaftlichen und technischen Gründen auf die Firma Capstone, die nachweislich schon viel Erfahrung im Bereich solcher Turbinen hat.

Die Lieferung und Installation der Anlage wurde an die Firma Verdesis (heute: Acrona Systems), die Vertragspartner der Firma Capstone für Deutschland ist, vergeben.

Als Partner für die Lieferung des ORC-Systems fiel die Entscheidung auf die Firma CONPOWER, die während des Evaluierungsprozesses alle Fragen kompetent und zielgerichtet beantwortet hat. Das sichere technisch kompetente Auftreten hat überzeugt. Zudem konnte eine bereits installierte Testanlage in Schmallenberg besichtigt werden.



Abbildung 5: Zwei Capstone Mikrogasturbinen mit Siloxanfilter (rechts) ^[4]

**Betrieb einer ORC-Mikrogasturbinenanlage
zur Verwertung von Deponiegas
auf der Deponie Sinsheim
Abschlussbericht**

Das gesamte Vorhaben zur Verwertung des Deponiegases umfasst die folgenden Punkte:

- Gebläsestation zur Absaugung des Deponiegases aus dem Deponiekörper und Erzeugung des Vordrucks für die Gasverwertung. Einschließlich Sicherheitseinrichtungen, Mengenmessungen und Gasanalyse.
- Gasaufbereitung für die Mikrogasturbinen bestehend aus Gaskühlung mit Entwässerung, Gasregelung, Druckerhöhung auf 5 bar, Kondensatableitung in bestehendes System (Kondensatanschluss an Sickerwasserleitung).
- Gasreinigung (Siloxan, Schwefel) über Siloxanfilter (A-Kohle) in 2 Stufen.
- 2 Mikrogasturbinen mit einer elektrischen Leistung von je $65 \text{ kW}_{\text{el}}$ (224 kW Brennleistung je Turbine, gesamt $90 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Deponiegas bei 50 Vol. % CH_4). Schallgedämmt ausgeführt.
- ORC-System mit 30 kW maximale elektrische Ausgangsleistung.
- Abgaskamin mit Wärmetauschern zur Abwärmenutzung mit Schalldämpfer.
- Kühler (Chiller) zur Wasserrückkühlung für die Gaskühlung.

5 Testbetrieb Sinsheim

5.1 Ziel der Messungen

Die Messkampagne hatte zum Ziel, den Betrieb der ORC-Anlage (ORCA) im Verbund mit zwei Mikrogasturbinen „CR65“ zu dokumentieren. Hierzu wurde das ORC-Modul für einen Testbetrieb provisorisch installiert, um nach Auswertung der Ergebnisse weitere Optimierungen durchzuführen. Danach sollte eine feste Einbindung in das System stattfinden.



Abbildung 6: Provisorisch installiertes ORC Modul ^[4]

5.2 Anlage

| | | | |
|--------------------|--|---------------|---------------------------------|
| ORC-Anlage | 1 Organic Rankine Cycle vom Typ „ORCA“ | | max. 30 kW _{el} |
| Wärmequelle | 2 Mikrogasturbinen Typ Capstone CR65 max. thermische Leistung (bei einer Vorlauftemperatur von 100 °C) | Total: | 210 kW _{th} |
| E-Gewinnung | | Total: | max. 240 kW_{th} |

| | | | |
|-----------------------|--|---------------|--------------------------------|
| Kühlung | 4 Lüftermotoren à je 1,36 kW 1 Kühlwasserpumpe 970W (100 %) | Total: | ca. 6,41 kW _{el} |
| Medium | 1 Pumpe (100 % = 5,5 kW) ca. 20 % | Total: | ca. 1,1 kW _{el} |
| Heißwasser | 1 Wasserpumpe 970 W (100 %) | Total: | ca. 0,97 kW _{el} |
| Peripherie | FU, Steuerung, Umrichter ... | Total: | ca. 1 kW _{el} |
| Eigenverbrauch | | Total: | ca. 9,5 kW_{el} |

Tabelle 1: Energiewerte ⁴

⁴ „Schlussbericht ORC-Betrieb mit Mikrogasturbine auf der Deponie Sinsheim“, S. 21, 7.2 Anlage, ACRONA SYSTEMS

5.3 Resultate

5.3.1 Anfahren der Anlage

Beim gleichzeitigen Anfahren der ORC-Anlage mit dem Beginn der Wärmeeinspeisung in den Heizkreislauf zeigt sich bereits die mit der bestehenden Anlage und den zwei Mikrogasturbinen unter voller Last erreichbare Leistung:⁵

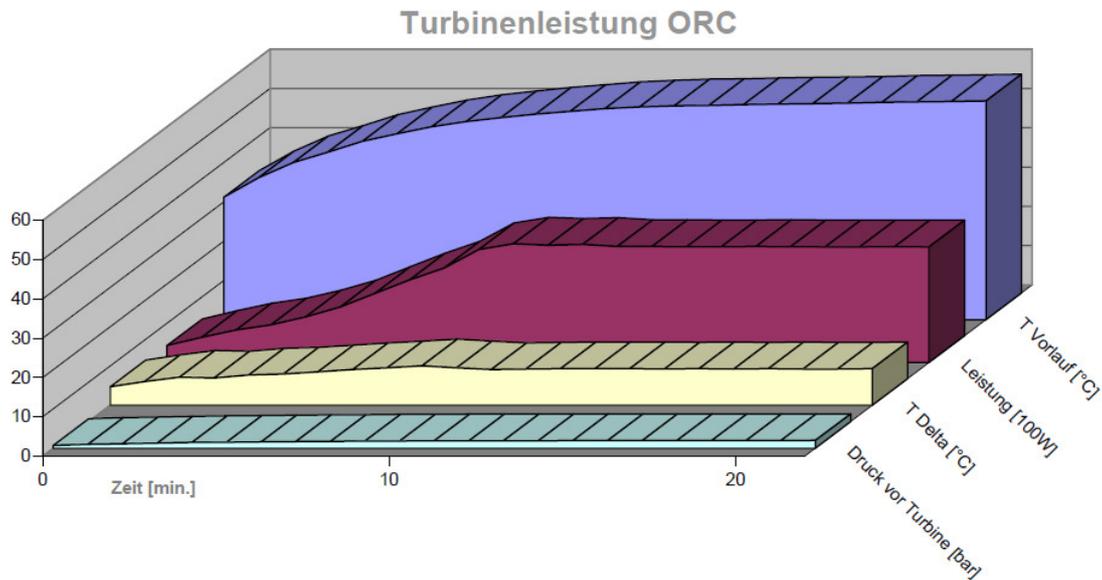


Abbildung 7: Gleichzeitiger Start

5.3.2 Erläuterung

Zusammen mit dem Anstieg der Vorlauftemperatur (blau dargestellt) steigen auch die Leistungsparameter, der vor der ORC-Turbine im Medium herrschende Druck (Druck vor Turbine [bar], grün dargestellt), die Temperaturdifferenz im Heizwasser (T Delta [°C], gelb dargestellt) sowie die vom ORC-Generator abgegebene elektrische Leistung (Leistung [100 W], rot dargestellt).

Bereits nach 10 min. erreicht die ORC-Turbine ihre maximal zu erreichende elektrische Leistung von rund 3 kW, da die Temperaturdifferenz im Heizwasser durch die thermische Leistung der Turbinen begrenzt ist.⁵

⁵ „Schlussbericht ORC-Betrieb mit Mikrogasturbine auf der Deponie Sinsheim“, S. 22, 7.3 Resultate, ACRONA SYSTEMS

5.3.3 Start bei höchster Energie

Im zweiten Versuch wurde die Vorlauftemperatur im Heizwasser vor dem Einschalten der ORC-Turbine nahe an den Maximalwert des Systems von 120 °C erhöht, was im Diagramm am Wert der Vorlauftemperatur zum Startzeitpunkt ersichtlich ist, um die größtmögliche Energie dem ORC-Prozess zur Verfügung zu stellen:⁵

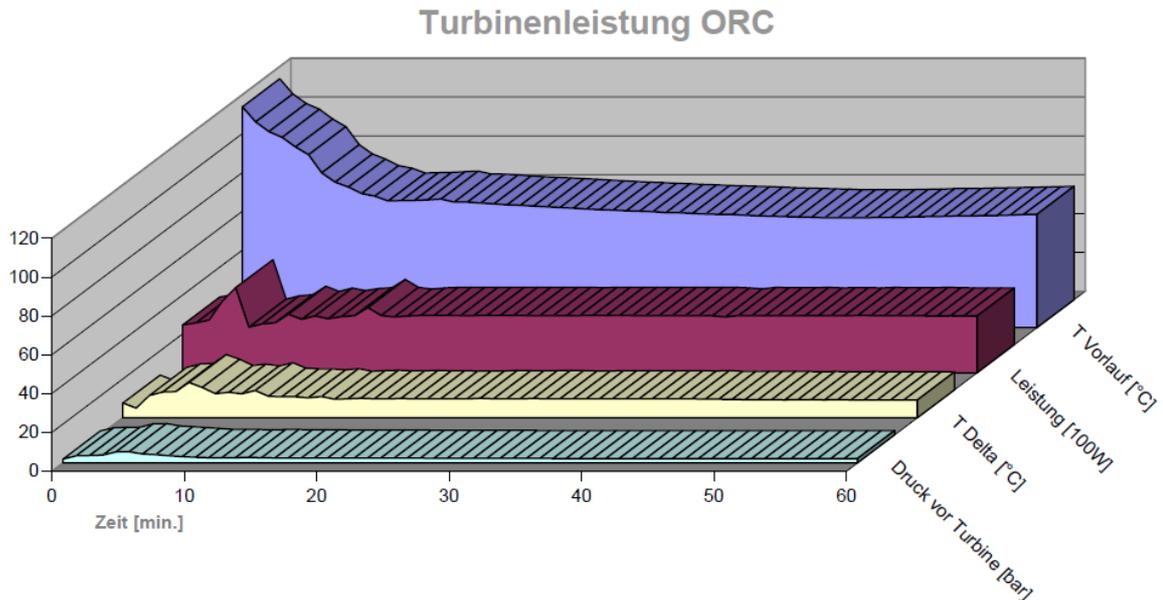


Abbildung 8: Start bei höchster Energie

5.3.4 Erläuterung

Beim Start der ORC Turbine mit 120 °C warmem Wasser erreicht der ORC-Prozess zwar kurzzeitig eine Maximalleistung von 4.5 kW (rot dargestellt), doch fällt die Temperaturdifferenz im Heizwasser (gelb dargestellt) innerhalb weniger als 10 Minuten auf den bereits im vorherigen Versuch erreichten Wert und die Leistung pendelt sich auf den bereits bekannten 3 kW elektrisch ein.⁵

5.4 Folgerung

Der ORC-Prozess vom Typ „ORCA“, beheizt mit zwei Mikrogasturbinen „CR65“ muss zum jetzigen Stand der Entwicklung als uneffizient bezeichnet werden. Der dauerhafte Eigenverbrauch der Anlage liegt mit rund 10 kW elektrisch rund 7 kW über der durch den Prozess dauerhaft erzeugten elektrischen Leistung von 3 kW.⁶

⁶ „Schlussbericht ORC-Betrieb mit Mikrogasturbine auf der Deponie Sinsheim“, S. 23, 7.4 Folgerung, ACRONA SYSTEMS

6 Abgasüberwachung

Auf Grund der nur kurzen Testläufe, konnte keine Abgasmessung im ORC Betrieb durchgeführt werden. Die Anlage wurde nach den gescheiterten Versuchen auf einen reinen Mikrogasturbinenbetrieb zurück gebaut.

Im Rahmen der Genehmigung nach BImSchG wurden die folgenden Messwerte im Betrieb ohne ORC-System ermittelt.

Die Messung erfolgte am 28.07.2009 bei Normalbetrieb der Anlage.

Die Messdaten errechnen sich aus dem Mittelwert von 3 Messungen der Halbstundenmittelwerte der Schadstoffkonzentrationen und Massenströme, bezogen auf ein trockenes Abgas bei Normbedingungen (1013 hPa, 273,15 K) sowie auf einen Bezugssauerstoffgehalt von 15 Vol. %.

| | | Mittelwert | Maximalwert | Grenzwert |
|----------------------------------|-------------------|------------|-------------|-----------|
| Konzentration | | | | |
| - Staub | mg/m ³ | 1,0 | 1,6 | 2,0 |
| - Kohlenmonoxid | mg/m ³ | 46 | 49 | 200 |
| - Stickoxide als NO ₂ | mg/m ³ | 21 | 23 | 100 |
| - HCL | mg/m ³ | < 2 | < 2 | 30 |
| - Flourwasserstoff | mg/m ³ | < 0,4 | < 0,4 | 5 |
| - Formaldehyd | mg/m ³ | 24,4 | 28,1 | 40 |
| - Schwefeldioxid | mg/m ³ | 0,6 | 0,9 | 35 |
| - PCDD/PCDF inkl. NWG | ng/m ³ | -/- | 0,0007 | 0,1 |

Tabelle 2: Messwerte Mikrogasturbine 1 vom 28.07.2009 ⁷

⁷ „Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen 30.10.2009“ Messung der Mikrogasturbine auf der Deponie Sinsheim vom 28.07.2009; Institut für Analytische Chemie und Mikrobiologie

7 Auswertung

Die beiden dokumentierten Testbetriebe „Schmallenberg“ und „Deponie Sinsheim“ zeigen im Prinzip die gleichen Resultate. Beim Betrieb „Deponie Sinsheim“ kam jedoch erschwerend hinzu, dass die dabei verwendeten Tischkühler, zur Unterstützung der Kühlleistung, mit 4 elektrisch betriebenen Ventilatoren ausgestattet waren. Somit wurde der geringe positive Wirkungsgrad den die Anlage noch im Testbetrieb Schmallenberg zeigte in einen negativen gekehrt.

Entscheidender ist die Feststellung, dass die Testanlage, befeuert mit 210 kW über rund 100 °C warmes Wasser, mit maximal 13,5 kW dauerhaft weit unter den erwarteten 30 kW elektrischer Abgabeleistung der ORC-Turbine betrieben werden kann. Der Kühlung, zwecks Auskondensieren des organischen Mediums, wird immer größte Aufmerksamkeit zu schenken sein, doch wäre das Resultat des Testbetriebes auf der Deponie Sinsheim nicht besser ausgefallen, wenn ein effizienterer Kühler eingesetzt worden wäre.

Man kann mit Sicherheit auch sagen, dass die Anlage eine zu hohe Minimalleistung erfordert hat, so dass sie mit der Abwärme der zwei Mikrogasturbinen Typ Capstone CR65 nicht betrieben werden konnte. Beim Starten der ORC-Turbine kühlte sich die Vorlauftemperatur des Wassers derart schnell ab, dass sofort ein thermischer Leistungsmangel entstand und die Turbine wieder annähernd zum Stillstand kam.

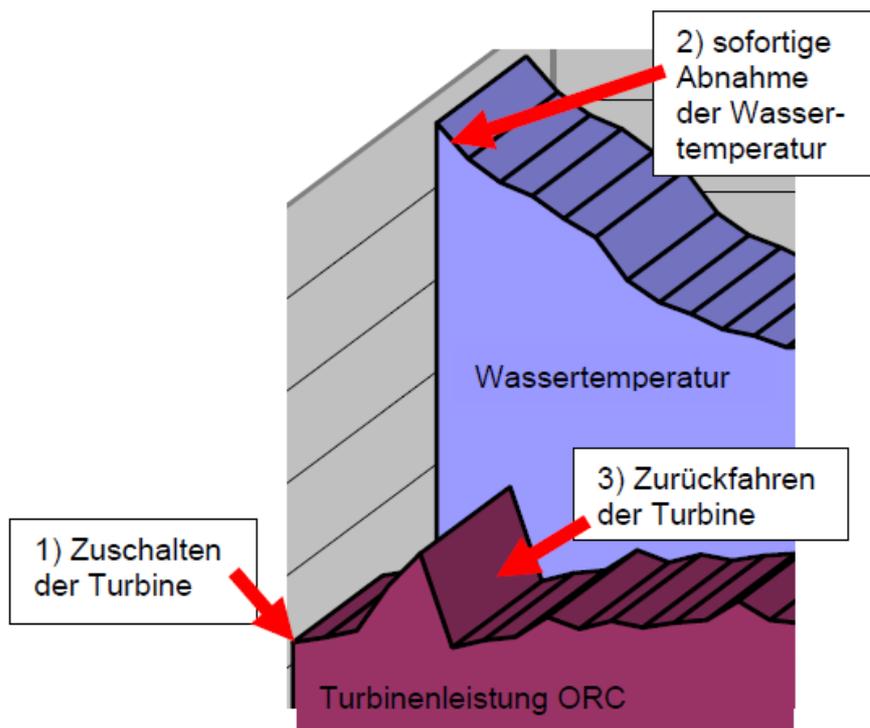


Abbildung 9: Wassertemperatur und Leistung ORC

**Betrieb einer ORC-Mikrogasturbinenanlage
zur Verwertung von Deponiegas
auf der Deponie Sinsheim
Abschlussbericht**

Als Erkenntnis aus den Ergebnissen kann man ableiten, dass auch ein vorübergehend erhöhter Wärmebedarf, beispielsweise beim Hochfahren der ORC-Turbine, gedeckt sein muss. Das heißt, dass ein ORC-Prozess entweder sehr präzise an die verwendete Wärmequelle, in unserem Fall die Abwärme der Mikrogasturbinen, angepasst oder sogar unterdimensioniert sein muss, um dies zu garantieren. Weiter muss auch die Regelung der verschiedenen Anlagenkomponenten beachtet werden. Leistungsdefizite auf der Wärmeseite müssen durch die Steuerung frühzeitig erkannt werden und der Prozess entsprechend zurückgefahren werden, damit keine Leistungseinbrüche auf der Ausgangsseite der ORC-Turbine auftreten und der ganze Prozess ins Schwingen gerät.⁸

Generell wäre es wünschenswert ein System, bestehend aus einer Mikrogasturbine und eines ORC-Moduls, aus einer Hand zu erhalten. Die Hersteller der Mikrogasturbinen, so auch Capstone, arbeiten bereits an diesen Modulen. Bisher jedoch noch in Größen > 100 kW Leistung, die für eine Anlage wie Sinsheim nicht einsetzbar sind. Dies hätte den Vorteil, dass die Anlagen besser aufeinander abgestimmt sind, womit ein höherer Wirkungsgrad erreicht wird.

⁸ „Schlussbericht ORC-Betrieb mit Mikrogasturbine auf der Deponie Sinsheim“, S. 23, 8. Auswertung, ACRONA SYSTEMS

Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwertung von Deponiegas mittels Mikrogasturbinen ist nicht nur aus Sicht der reduzierten Umweltbelastung erstrebenswert, es lässt sich meist auch wirtschaftlich positiv darstellen. Die Nutzung der dabei entstehenden Wärme, der heißen Abgase, zur Beheizung von in der Nähe befindlichen Bauten birgt zusätzliches Potenzial. Gibt es jedoch keine Möglichkeit diese thermische Energie sinnvoll zu nutzen, so muss sie nach jetzigem Stand der Technik an die Umgebungsluft abgegeben werden.

Die Grundidee lag nun darin, diese Wärmeenergie der Abgase durch einen ORC-Prozess zu nutzen und in Strom umzusetzen. Leider war bisher kein ergiebiger Betrieb dieses Prozesses beim Einsatz mit Deponiegas möglich. Ein Ansatz das System zu modifizieren und effizienter zu machen, war der Versuch das Thermoöl durch Wasser zu ersetzen. Die Anlage auf der Deponie Sinsheim stellte deshalb eine innovative Lösung hierfür dar.

Während des Betriebs war erkennbar, dass die erfassten Messwerte nicht die im Vorfeld erwarteten Ergebnisse erreichen. Der erzielte Wirkungsgrad bewegt sich in Bereichen, in dem die zum Betrieb des ORC benötigte Energie höher ist, als die im Endeffekt erzeugte Energie.

Zusammenfassend muss man feststellen, dass die Umsetzung einer Mikrogasturbine mit nachgeschaltetem ORC-Prozess zur Deponiegasverwertung nicht zu dem erwarteten Erfolg geführt hat. Die Hersteller dieser Systeme haben jedoch erkannt, dass eine Menge Potenzial in dieser Technik steckt. Sie lernen aus den Ergebnissen der Anlage, ziehen ihre Konsequenzen daraus und entwickeln bereits verbesserte Systeme.

Im Falle der AVR GmbH werden die Mikrogasturbinen nun ohne ORC betrieben und die Wärme der Abgase ist derzeit ungenutzt.

Für 2011 ist der Neubau des Sozial- und Betriebsgebäudes der Deponie geplant, bei dem die thermische Energie der Turbinen zur Beheizung und Warmwasserbereitung genutzt werden soll. Über den vorhandenen Wärmetauscher wird die Wärme der Abgase auf das Brauch- und Heizwasser des Gebäudes übertragen, womit sich die Installation einer konventionellen Heizungsanlage erübrigt und somit der Wärmebedarf des Gebäudes über den Einsatz von erneuerbaren Energien gedeckt werden kann.

8 Abbildungsverzeichnis

- [1] <http://www.umweltdienstleister.de/images/berichte/0977Mikrogasturbine.jpg>
- [2] http://www.getorc.de/images/orc_prozess.gif
- [3] Produktdatenblatt Capstone CR65
- [4] AVR GmbH