

Stromerzeugung mit einem Schraubenexpander in einem Organic Rankine Cycle

Dr.-Ing. **U. Drescher**, GMK mbH, Bargeshagen

Dipl.-Ing. **T. Voßberg**, GMK mbH, Bargeshagen

Dipl.-Chem. **R. Niesner**, Germania Apparatebau GmbH, Bargeshagen

Kurzfassung

Bei stationären Verbrennungsmotoren zur Stromerzeugung fällt eine hohe Menge Abwärme an, die mit einem Organic Rankine Cycle (ORC) zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Es werden die Erfahrungen aus dem Betrieb eines Schraubenexpanders in einem ORC berichtet, der die Abwärme aus dem Abgas und den Kühl- und Schmiermedien eines 500 kW-Biogasmotors verstromt.

1. Einleitung

In Deutschland gibt es mehrere tausend Biogasanlagen, die Biogas mit einem Verbrennungsmotor verstromen. Durch die EEG-Vergütung ist eine zuverlässige Einspeisung in das Netz und ein stabiler Strompreis gewährleistet, was für eine hohe Planungssicherheit sorgt. Das generelle Ziel ist, möglichst viel Strom aus dem Biogas zu erzeugen. Neben motorischen Verbesserungen ist die Abgasnachverstromung ein Ansatz, der zu einem hohen Leistungszuwachs führt. Das heiße Abgas des Motors kann prinzipiell als Wärmequelle für einen Dampfprozess (Clausius Rankine Cycle), wie er ähnlich in Großkraftwerken läuft, genutzt werden. Aufgrund der relativ niedrigen Temperaturen und der kleinen Wärmemengen weist in diesem Anwendungsfall der Organic Rankine Cycle (ORC) Vorteile auf. Hier wird im Unterschied zum Wasserdampfprozess ein organisches Medium eingesetzt. Ein weiterer Unterschied ist, dass bei kleinen Anlagen Turbinen niedrige Maschinenwirkungsgrade aufweisen und im Verhältnis zu Gesamtanlage wirtschaftlich kaum einsetzbar sind.

2. Beschreibung der Anlage

Die ORC-Anlage nutzt als Wärmequelle das Abgas und das Motor-Kühlwasser. Die Wärme des Abgases wird mit einem Thermalöl-Zwischenkreislauf auf das ORC-Fluid übertragen. Im ORC-Kreis sind die Wärmeübertrager zur Vorwärmung als Plattenwärmeübertrager ausgeführt. Der Verdampfer ist ein Rohrbündel-Wärmeübertrager, der speziell für diese Anwendung ausgelegt wurde. -Im Expander – einem in umgekehrter Richtung betriebenen

Schraubenverdichter – wird mechanische Arbeit erzeugt, die über den Generator in Strom umgewandelt wird. Das Volumenverhältnis beträgt maximal 5,5 und kann über einen V_1 -Schieber geregelt werden. Das nach dem Expander entspannte, gasförmige ORC-Fluid wird über einen direkten Luftkondensator wieder verflüssigt. Die Speisepumpe, eine mehrstufige Kreiselpumpe mit einer Magnetkupplung, treibt den Kreislauf an und sorgt für die notwendige Druckerhöhung. Als Fluid wird ein teilfluoriertes Arbeitsmittel aus dem Bereich Wärmepumpen-/Kältetechnik eingesetzt. Der Expander ist im Vergleich zu anderen am Markt bekannten Anlagenkonzepten ölgeschmiert. Das Öl wird nach dem Expander in einem Ölabscheider vom Arbeitsfluid getrennt und wieder dem Expander zugeführt. Die Kondensationswärme kann prinzipiell auch für Heizzwecke verwendet werden.

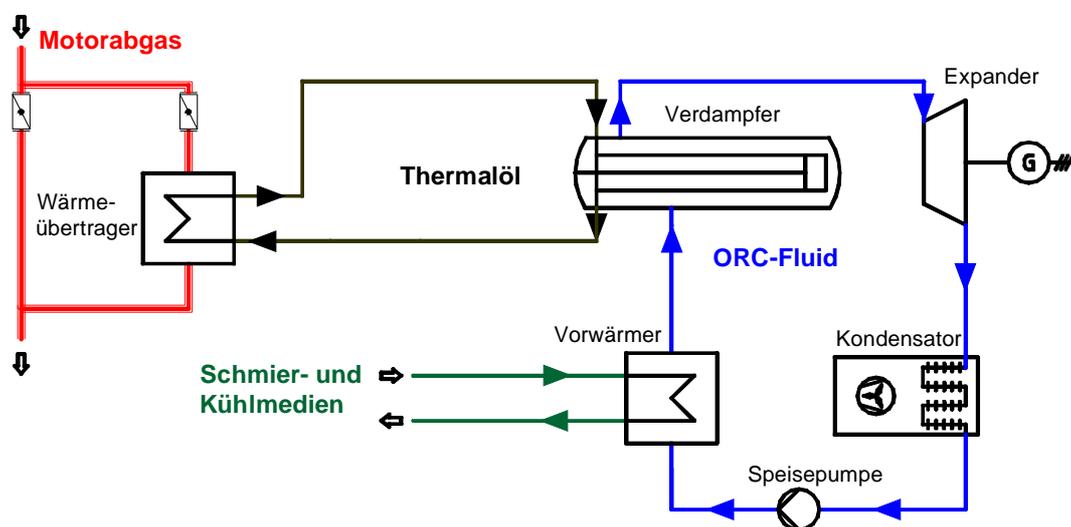


Bild 1: Verfahrensschema der Stromerzeugung mit einem ORC aus Abgas.

3. Ergebnisse

Die Anlage wurde im Herbst 2009 in Betrieb genommen. Seit diesem Zeitpunkt lief sie stabil. Das Betriebsverhalten kann als robust und gutmütig beschrieben werden. Der Lärmpegel ist für eine ORC-Anlage gering.

Eine Herausforderung bei dem Einsatz dieser Art von Schraubenexpandern ist die Abtrennung des Schmier- und Dichtöls vom ORC-Fluid. Diese funktioniert problemlos bei der beschriebenen Anlage.

Schraubenmotoren weisen im Vergleich zu Turbinen ein relativ niedriges Druck – bzw. Volumenverhältnis zwischen Zudampf und Abdampf von bis zu 5,5 auf. Die Abdampfparameter ergeben sich im Wesentlichen aus der Kondensationstemperatur, welche von der

Umgebungstemperatur abhängt. Diese sind somit mehr oder weniger vorgegeben. Über das Volumenverhältnis ergeben sich daraus auch die Zudampfparameter. Dies bedeutet, dass bei Kondensationstemperaturen von ca. 35 °C der Zudampf eine Temperatur von nur ca. 100 °C hat. Dies führt bei einer einstufigen Expansion zu einem relativ niedrigen Kreislauf-Wirkungsgrad, welcher hier bei ca. 10 % liegt.

Das Kühlwassers des Motors wird ausschließlich zur Vorwärmung des ORC-Fluides verwendet, da seine maximale Temperatur von ca. 90 °C unter der Verdampfungstemperatur liegt. Ungefähr die Hälfte dieser Kühlwasser-Wärmeleistung wird durch das ORC-Modul genutzt. Der Rest wird für die Biogasanlage intern u. a. zur Vorwärmung des Nährsubstrats verwendet.

Mit dem Prototypen wurde bisher eine maximale elektrische Bruttoleistung von 37 kW erzielt, der Eigenbedarf liegt bei ca. 6 kW.

4. Diskussion und Ausblick

Das Betriebsverhalten der Anlage kann als stabil und störungsfrei beschrieben werden. Die erzielten Leistungen ermöglichen einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage. Ziel für die Zukunft ist eine weitere Effizienzsteigerung, die durch einen Fluidwechsel und ein verändertes Anlagenlayout angestrebt wird.