

# „Energetische Nutzung von Abwärmeströmen - neuartige wirkungsgradoptimierte ORC Anlage im niedrigen Leistungsbereich – Entwicklung, Inbetriebnahme und Erprobung“

Dr.-Ing. Andreas DENGEL<sup>1</sup>

Dipl.-Ing. Michael Schmidt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> STEAG New Energies GmbH; St. Johanner Straße 101; D-66115 Saarbrücken;  
Tel: +49 (0)681 9494 1600; Mail: andreas.dengel@steag.com;  
Homepage: <http://www.steag-newenergies.com>

<sup>2</sup> DeVeTec GmbH; Altenkesselerstraße 17/D2; D-66115 Saarbrücken;  
Tel: +49(0)681 830788-11; Mail: M.Schmidt@devetec.de; Homepage: <http://www.devetec.de>

**Kurzfassung:** Die STEAG New Energies GmbH beteiligt sich seit Ende 2007 an der Erprobung einer neuartigen ORC-Anlagentechnologie der Fa. DeVeTec GmbH. Da das neuartige Konzept auf Basis einer Verdrängermaschine als Expander beruht, sind sehr hohe Expansionsverhältnisse und somit sehr hohe Enthalpiegefälle möglich. Dadurch wird eine sehr hohe Effizienz erreicht. Gleichzeitig werden durch Verdrängungsmaschinen keine besonderen Anforderungen an die zu verwendeten Fluide gestellt, sie können auch Nassdampf verarbeiten. Dies führt dazu, dass die Fluide einfach direkt verdampft werden können und auch kein Rekuperator zur Wärmerückgewinnung mehr erforderlich ist. Neben dem Vergleich zu am Markt erhältlichen Anlagen ist deshalb der Investitionsbedarf niedriger einzuschätzen. Auch ist zu erwarten, dass Wirkungsgradniveau sowie Teillastverhalten der ORC-Anlage auf Verdrängerbasis bauartbedingt besser sein werden als bei einer Turbinenlösung. Die Anlage mit einer elektrischen Leistung von 200 kW hat als Prototyp am Kraftwerksstandort Fenne ihre Eignung nachgewiesen. Derzeit wird im Rahmen eines Feldtests mit vier Anlagen eine davon am Standort Kirchwalsede im Abgasstrom zweier Biogasmotoren installiert und in Betrieb genommen. Somit kann ein Teil der dort anfallenden Abwärme in elektrische Energie umgewandelt und die restliche Wärme direkt sinnvoll am Standort genutzt werden.

**Keywords:** ORC-Anlage, Verdrängermaschine, Biogasanlagen, Abwärmenutzung

## 1 Einleitung

Abwärme als Energiequelle zur Stromerzeugung kommt überall dort vor, wo Primärenergien zum Einsatz kommen, z. B. bei vielen Industrieprozessen oder bei der Stromerzeugung. Auch bei der dezentralen Verstromung von Biogas in BHKWs fallen oft große Mengen ungenutzter Wärme an.

Da jedoch diese Wärme zumeist nur Temperaturen von  $< 400^{\circ}\text{C}$  aufzeigt, werden diese Wärmeströme, wenn überhaupt, zu Heizzwecken eingesetzt; meist kann diese Wärme auch dann nur noch im geringen Maße verwertet werden, da an Ort und Stelle nur ein geringer Wärmebedarf vorhanden ist.

Erstrebenswert wäre jedoch die Verstromung, da Strom als die wesentlich edlere Energieform ohne großen Aufwand verteilt oder auch eingespeist werden kann. Gleichzeitig fallen für diese Form der Stromerzeugung keine zusätzlichen Emissionen oder auch Brennstoffkosten an. Die hierfür infrage kommenden klassischen Verfahren wären wasserdampfbetriebene Turbinen, wie sie in Kraftwerken zum Einsatz kommen. Jedoch lassen sich mit Wasserdampf bei diesen Temperaturen und insbesondere bei dieser Größenordnung der Wärmeströme nur unter kostenintensivem Aufwand nennenswerte Erlöse erzielen, was die Wirtschaftlichkeit infrage stellt.

Als Alternative können anstelle von Wasser diverse organische Medien mit niedrigeren Verdampfungstemperaturen in einem thermodynamischen Kreisprozess eingesetzt werden. Dieses als ORC (Organic Rankine Cycle) bezeichnete Verfahren gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird bereits vermehrt in Leistungsklassen  $> 500\text{ kW}$  angewandt.

Um jedoch auch die vielen dezentralen Wärmequellen zu nutzen, bedarf es neuer Lösungen, die sich im Bereich einer elektrischen Leistung von  $50 - 300\text{ kW}$  bewegen.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens beteiligte sich die STEAG New Energies GmbH an der Entwicklung einer solchen neuartigen ORC-Expansionsmaschine, Im ersten Schritt war es Ziel, die Funktionsfähigkeit und die möglichen Wirkungsgrade zu eruieren. Neben der ORC-Dampfexpansionsmaschine wurden weitere Komponenten des Kreisprozesses wie Verdampfer und Speisepumpe für das organische Medium konzipiert und gebaut. Nach erfolgreichem Abschluss dieses Vorhabens am Kraftwerksstandort Fenne läuft seit Ende 2009 mit weiteren Projektpartnern und öffentlicher Förderung des BMWI über vier Jahre ein Feldtest mit vier Maschinen, die jeweils andere (Ab-) Wärmequellen nutzen. Bei STEAG New Energies GmbH wurde eine der vier ORC-Feldtestanlage in den Abgasstrang zweier Verbrennungsmotoren eingebunden, die das Gas einer Biogasanlage verstromen.

## **2 Grundprinzip**

Beim Verfahren der ORC- Technologie handelt es sich um einen klassischen Dampfkreisprozess, wie er in der Regel bei großen Kraftwerken zur Stromerzeugung eingesetzt wird. Die Besonderheit des ORC- Verfahrens ist, dass es anstelle von Wasser ein organisches Fluid verwendet, das andere thermodynamische Eigenschaften besitzt (Abb. 1).

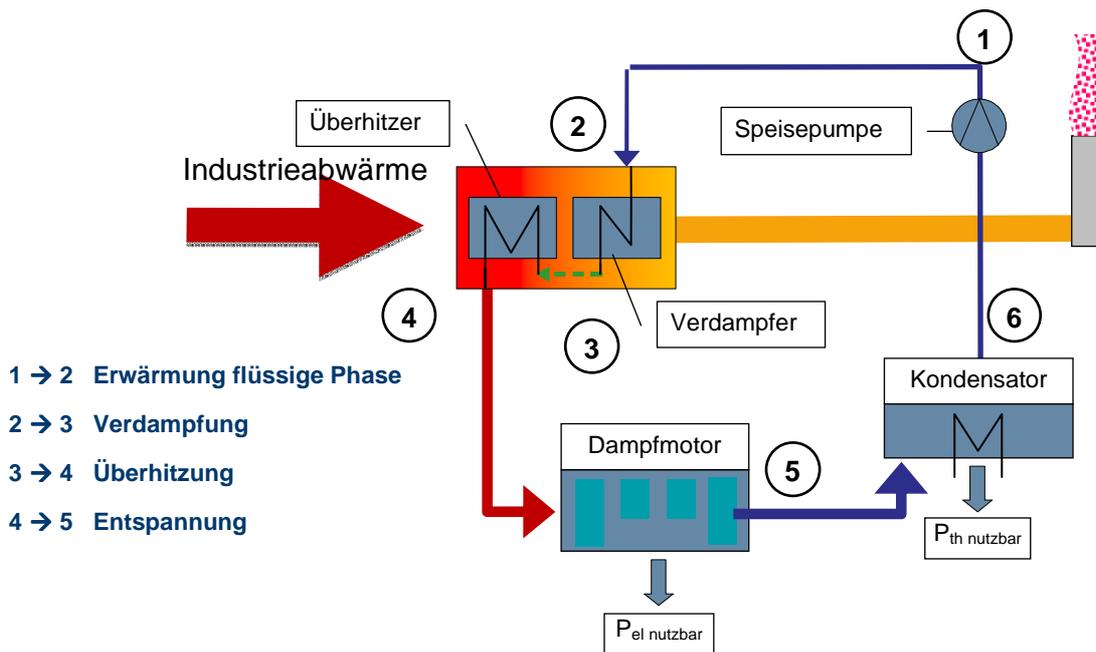


Abb. 1: schematische Darstellung des DeVeTec ORC-Kreisprozesses

Die am häufigsten zum Einsatz kommenden ORC-Systeme basieren auf einstufigen Turbinen. Diese Turbinen sind im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass nur ein geringes Enthalpiegefälle ( $\Delta H$ ) umgesetzt werden kann, was sich mit dem geringen Expansionsverhältnis begründen lässt. Als weitere Alternativen wurden vermehrt Schraubenexpander als auch Wälzkolbensysteme erprobt, wobei sich hier die Leckage als großes Problem gezeigt hat. Beide Systeme waren bisher nur in der Lage, geringe elektrische Wirkungsgrade ( $\eta_{el. ges.}$ ) - bezogen auf die zur Verfügung stehende Abwärme im unteren Temperaturbereich ( $< 400^\circ\text{C}$ ) - zu realisieren; meist deutlich unter 10%. Der häufig erwähnte ORC-Wirkungsgrad ( $\eta_{el. ORC}$ ) genügt nicht, um eine tatsächliche Relation zwischen verfügbarer Wärme und der daraus resultierenden elektrischen Leistung herzustellen.

Die ORCent Technologie, basierend auf einer Kolbenexpansionsmaschine mit einem sehr großem Expansionsverhältnis, erzeugt in diesen Fällen fast doppelt so viel elektrische Leistung, da hier ein hohes Enthalpiegefälle ( $\Delta H$ ) realisiert wird. Deutlich erkennen kann man dies bei der Gegenüberstellung der Temperatur, mit der der Wärmestrom die Wärmeüberträger verlässt: Bei Silikonöl-basierenden Turbinen, die im oberen Temperaturbereich ( $T_{in} = 270^\circ\text{C}$ ) arbeiten, stellt man fest, dass hier immer noch eine sehr hohe Resttemperatur im Wärmestrom vorliegt, die nicht mehr zur Stromerzeugung genutzt werden kann (Abb. 2). Neue Ansätze mit Turbinen, die andere organische Medien verwenden, die auf niedrigerem Temperaturniveau arbeiten, senken zwar die Restwärme im Wärmestrom ab, verlieren dann jedoch erheblich bei den inneren Wirkungsgraden ( $\eta_{el. ORC}$ ). Gleichzeitig bedarf es einer Kühlung, die mit sehr niedriger Vorlauftemperatur arbeiten muss, was dann eine Wärmenutzung des Kühlwasser-Rücklaufs unwahrscheinlich werden lässt.

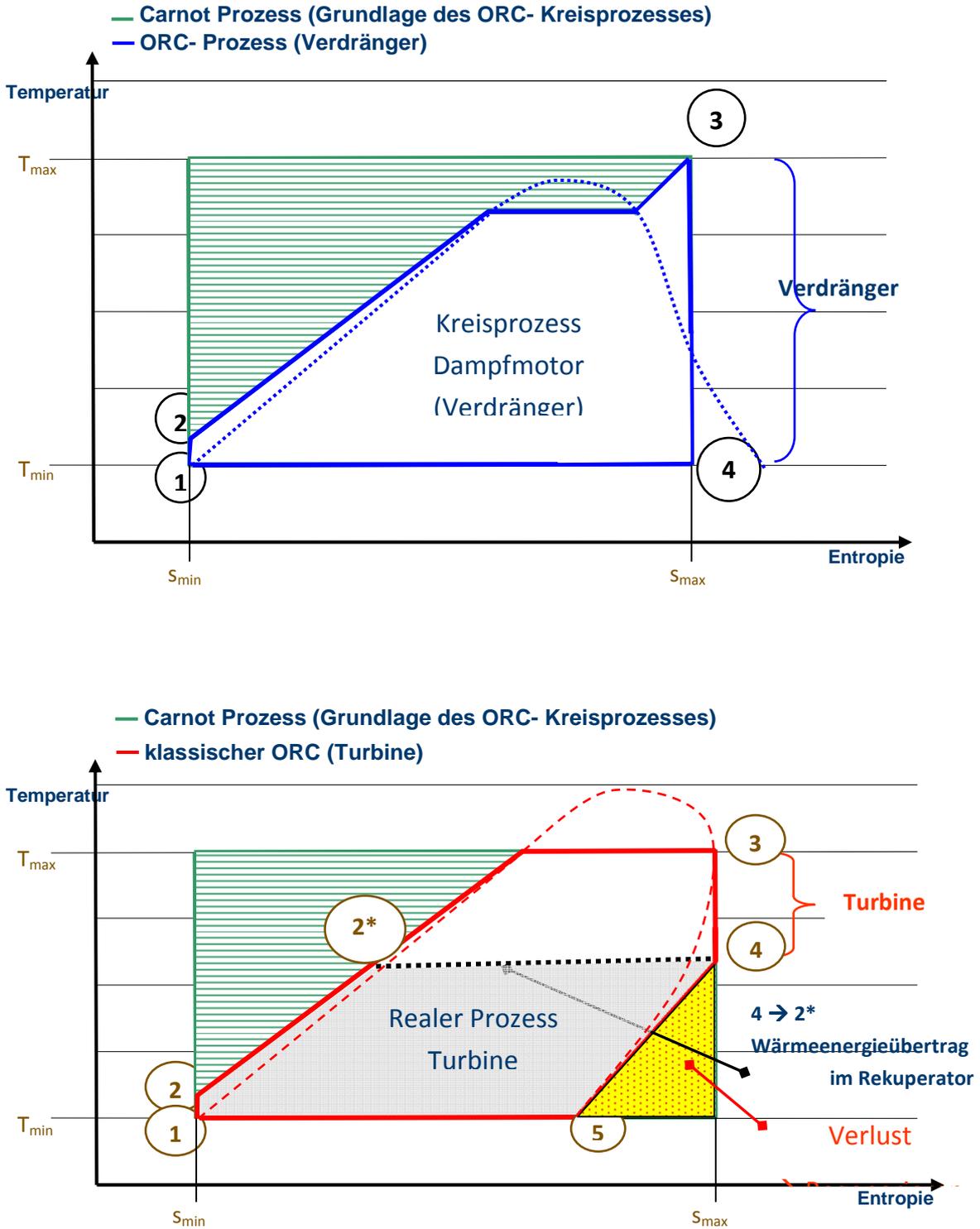


Abb. 2: Grundprinzip ORC-Kolbenmaschine im Vergleich zu ORC-Turbine

### 3 Versuchsanlage Fenne

Im Rahmen eines mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327436A geförderten Vorhaben „ORC-Pilotanlage“ wurde diese Technologie im Frühjahr 2009 im Abgasstrang eines Grubengasmotors am Standort Fenne in Betrieb genommen (Abb. 3). Dieser Grubengasmotor hat eine elektrische Leistung von rd. 3 MW und eine Abwärmeleistung im Abgas von ca. 1,6 MW.

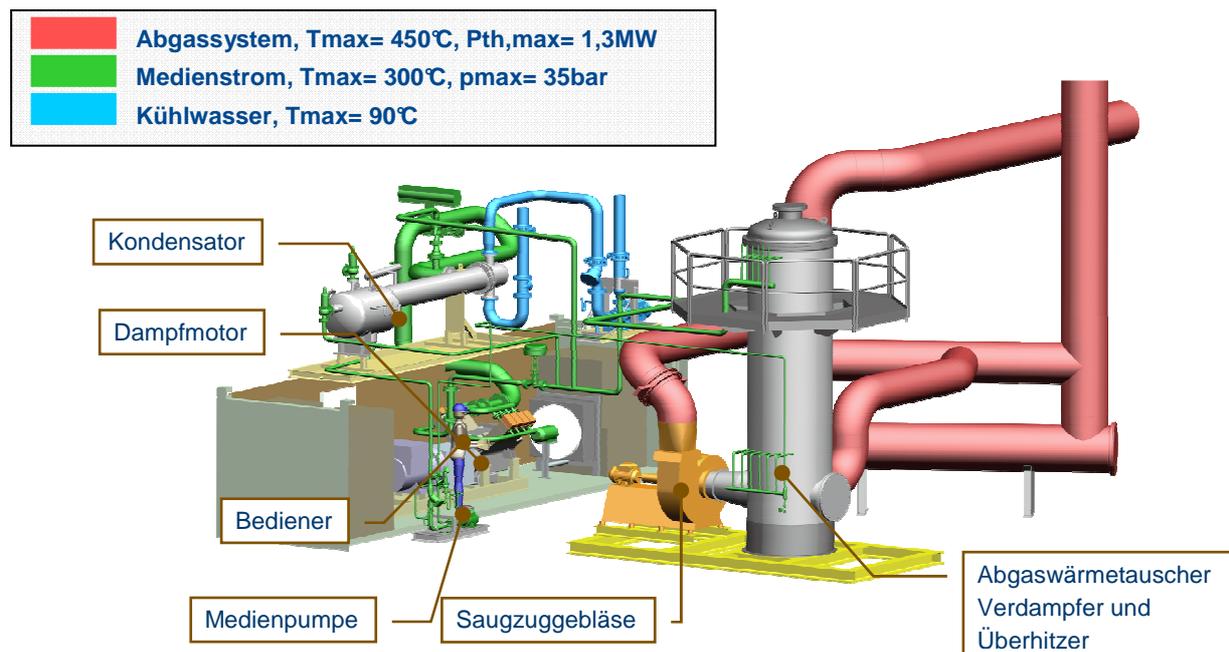
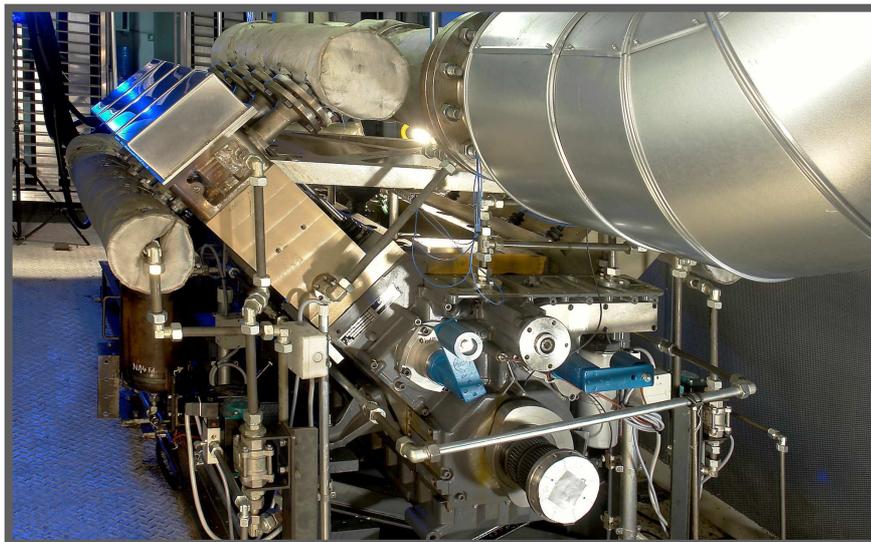


Abb. 3: Grundprinzip Demonstrationsanlage Fenne

Im direkten Wärmetausch wird Abgaswärme auf das Medium Ethanol übertragen und im Kreisprozess in elektrische Energie gewandelt. Aufbau und Betrieb der Demoanlage erfolgten im Rahmen eines bergamtlich genehmigten Sonderbetriebsplanes und unter Prüfung, Abnahme und Begleitung durch den TÜV Saarland. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme konnte mit der Demoanlage (Abb. 4 und 5) nachgewiesen werden, dass mit dieser Technologie ein elektrischer Gesamtwirkungsgrad (nicht ORC-Wirkungsgrad) von mehr als 12 % realisierbar ist.



*Abb. 4: Demoanlage Kraftwerk Fenne*



*Abb. 5: Expansionsmaschine*

## **4 Feldtestanlage Kirchwalsede**

Als Fortsetzung des o.g. Forschungsvorhabens wurde ein Feldtest, eingebettet in ein von Seiten des BMWI unter dem Förderkennzeichen 0327436D geförderten und von DeVeTec durchzuführenden F+E-Projektes, ins Leben gerufen. Ziel dieses Vorhabens ist es, mit vier

ORC-Anlagen dieser neuen Technologie den Dauereinsatz in der Nutzung verschiedener Abwärmequellen nachzuweisen. Hierzu wurden von DeVeTec Kooperationsvereinbarungen mit Vertretern verschiedener Industrien geschlossen. Neben STEAG New Energies GmbH, welche die Abwärme der Motoren einer Biogasanlage zur Nutzung in einer ORC-Anlage verwertet, sind weitere Partner aus der Stahl-, der Glas-, der chemischen und der Automobilindustrie vertreten. Neben der reinen Wandlung von thermischer Energie in elektrische Energie werden im Rahmen dieses Feldtests auch die für die jeweiligen Abwärmeströme geeigneten Wärmetauscher entwickelt sowie durch den Projektpartner Evonik Degussa GmbH untersucht, welche weiteren Medien für den ORC-Prozess verfügbar bzw. konfigurierbar wären, um ein größeres Temperaturfeld abzudecken. Ziel ist es, Medien zu finden, um Abwärmequellen mit einer Temperatur von 90°C bis zu Temperaturen von 400°C mittels dieser Technologie nutzen zu können.

In Kirchwalsede betreibt STEAG New Energies GmbH eine Biogasanlage, basierend auf NaWaRo als Inputstoffe mit einer installierten elektrischen Leistung von 1.432 kW und einer installierten thermischen Nennleistung von 1.400 kW. Die ORC-Feldtestanlage Kirchwalsede wurde im September 2011 in Betrieb genommen. Sie greift die Abgaswärme der beiden Biogasmotoren ab. Da die Abgaswege der beiden Gasmotoren nicht zusammenschaltet werden dürfen, besitzt jeder Abgasstrang einen einzelnen ORC-Abgaswärmetauscher. Durch eine Vorwärmung wird sichergestellt, dass kein schwefelhaltiges Kondensat im Wärmeübertragungssystem ausfallen kann. Der Aufbau dieses ORC-Moduls ist in der folgenden Abbildung dargestellt (Abb. 6).

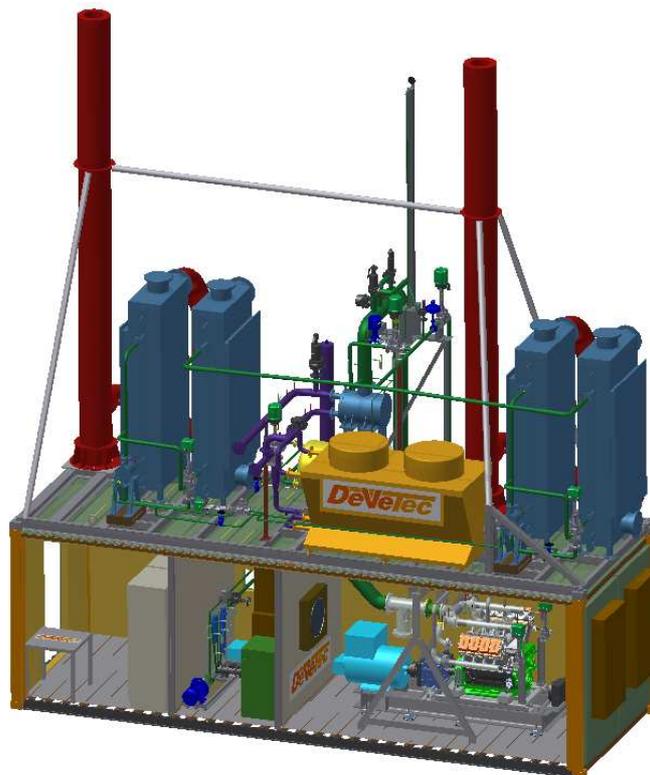


Abb. 6: Aufbau ORC-Modul mit Wärmeübertragungssystem

Da die Abgasenergie der beiden Biogasmotoren geringer ist als die des Grubengasmotors in Fenne, kann die Anlage in Kirchwalsede mit 1.000 1/min an Stelle von 1.500 1/min betrieben werden. Sie leistet hierbei etwa 130 KW<sub>el</sub>.

Die im vorherigen Vorhaben aufgebaute Demoanlage am Kraftwerksstandort Fenne wird weiterhin als Erprobungsträger genutzt.



*Abb. 7 Bild der ORC-Anlage Kirchwalsede*

## **5 Ausblick**

Das geförderte Vorhaben hat eine Laufzeit bis Ende 2013. In diesem Zeitraum sollen alle vier Feldtestanlagen in Betrieb genommen sein und ihre Eignung an der entsprechenden Abwärmequelle nachgewiesen haben. Verbesserungen, die während der Projektlaufzeit entstehen - an diesen Feldtestanlagen, aber auch an der Demonstrationsanlage in Fenne - werden sukzessive in alle Feldtestanlagen übernommen, so dass am Ende des Projektzeitraums alle Anlagen den gleichen technischen Stand aufweisen.