

# Doppelter Effekt durch Tandemlösung

Mit der europaweit einmaligen Kombination von ORC-Anlage und Dampfmaschine gelingt es in einer Pilotanlage im niedersächsischen Bohmte, die Ausbeute bei der Verstromung von Motorabwärme zu verdoppeln und die Leistung des BHKW um bis zu 12 Prozent zu erhöhen.

Von Dipl.-Journ. Wolfgang Rudolph

Spätestens seit Aufnahme der ORC-Technologie (Organic Rankine Cycle) in die Positivliste für den KWK-Bonus im EEG 2012 ist die Verstromung der BHKW-Abwärme nicht nur technologisch reizvoll, sondern auch wirtschaftlich interessant. In der Praxis lauern allerdings einige Fallstricke. Sie können das Ergebnis erheblich schmälern. Das liegt insbesondere an der unterschiedlichen thermischen Energie, die das BHKW liefert.

Fachleute bezeichnen den Wärmeinhalt eines Systems als Enthalpie. Sie wird in Formeln mit dem Buchstaben H gekennzeichnet. Während die Abgase des Motors etwa 500 Grad Celsius (°C) heiß sind, verlässt das Kühlwasser den Motor mit höchstens 90 °C. Zwischen diesen beiden Enthalpiebereichen liegen aus Ingenieurssicht Welten. Entsprechend unterschiedlich sind die technologischen Anforderungen bei der Umwandlung in elektrische Energie.

Hinzu kommt, dass die Angebote an BHKW-Restwärme selbst schwanken. Wenn dann das in der Regel ab etwa 125 °C arbeitende ORC-Verstromungsmodul aussteigt, weil das Wärmeangebot des Motors im Teillastbetrieb nicht ausreicht oder durch Sommerhitze keine ausreichende Kühlung des Arbeitsmittels erfolgt, wird nicht nur die Nachverstromung unterbrochen. Auch der Wärmeabnehmerzähler steht und es gibt keinen KWK-Bonus.

## Spezialisten für jeden Wärmebereich

„Was gegenwärtig an Systemen für die Verstromung von BHKW-Restwärme zur Verfügung steht, reichte uns einfach nicht. Wir wollten mehr“, benennen Serdar Cetin und Stefan Farwick den Ausgangspunkt der Überlegungen. Sie sind Geschäftsführer der SE-Tech Energie GmbH & Co. KG. Das Unternehmen mit Sitz in Hunteburg (Niedersachsen) betreibt eigene Biogas-BHKW sowie Fernwärmenetze und verkauft Strom

„Die Betreiber schätzen vor allem die Teillastfähigkeit und die Zuverlässigkeit unserer ORC-Aggregate“

Maarten van Cleef

und Wärme aus Erneuerbaren Energien. Seit 2008 beschäftigt sich die SE-Tech mit der Abwärmeverstromung. Serdar Cetin beschreibt die Strategie dafür: „Wir suchten nach den innovativsten Technologieanbietern im jeweiligen Wärmebereich, also bei der Nutzung der Motorwärme und der Motorabgase. Deren Entwicklungen, so unser Ziel, sollten sich in einem System ergänzen,

um insgesamt den Wirkungsgrad und die Betriebssicherheit zu verbessern.“

## Kompakter „ORC-Würfel“

Fündig wurden sie beim US-amerikanischen Unternehmen ElectraTherm und beim deutschen Technologiekonzern Voith. Die 2005 gegründete Firma ElectraTherm in Reno (Nevada) ist auf die Nutzung von Abwärme ▶



Die SteamDrive von Voith verstromt die heißen Motorabgase und hebt mit der Kondensationswärme die Temperatur des Motorkühlwassers für die Nutzung in der Green Machine an.

FOTOS: CARMEN RUDOLPH



Auf der Fachmesse zur 22. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas im Januar 2013 in Leipzig ermöglichte das US-amerikanische Unternehmen ElectraTherm einen Einblick in ihr kompaktes ORC-Modul „Green Machine“.



Das Tandemsystem aus SteamDrive und Green Machine nutzt die BHKW-Abwärme im Hoch- und Niedertemperaturbereich optimal für die Verstromung.



Den Doppelschneckenexpander in der Green Machine entwickelten Forscher an der Universität London.

im Niedertemperaturbereich in ORC-Aggregaten kleiner Baugröße spezialisiert. In ihrer ursprünglich für die Geothermie entwickelten „Green Machine“ kommt ein spezieller Doppelschraubenexpander (Twin Screw Expander) zum Einsatz, für den das Unternehmen eine Lizenz von der Universität London erwarb.

„Dieser Expander treibt auch im ‚nassen‘ Zustand den Kraftwerksblock an“, hebt Maarten van Cleef, Europa-Verkaufschef von ElectraTherm, als Besonderheit gegenüber traditionellen Turbinenanlagen hervor. Der ORC-Prozess setze sich also bereits in Gang, wenn nur ein Teil der Umlaufflüssigkeit – ein Standardkühlmittel, das ab 60 °C verdampft – in den gasförmigen Zustand übergegangen ist. Die Stromerzeugung startet nach Angaben des Herstellers daher schon bei einer Eingangstemperatur von 77 °C und einer Fließgeschwindigkeit des Heißwassers von 3,8 Liter pro Sekunde (l/s). Je nach Wärme-Input erzeugt die Green Machine dann bis zu 65 kW<sub>e</sub>. Die sich daraus ergebende Teillastfähigkeit sichere so auch bei schwankendem Angebot an thermischer Energie eine hohe Verfügbarkeit. „Und dass jedes Kilowatt verfügbare Wärme benutzt wird, um Strom zu erzeugen, ist ja genau unser Ziel“, sagt Stefan Farwick. Aus seiner Sicht spreche zudem die Robustheit der Maschinenkomponenten für den Einsatz der Green Machine im Verstromungs-Tandem.

So erfolge die Schmierung integriert über einen Zusatz zum Umlaufmittel, was eine komplexe Schmieranlage mit all ihren Komponenten überflüssig macht. Auch ein Getriebe vor dem Generator ist wegen der geringen Betriebsdrehzahl nicht notwendig. Mit seinen Maßen von 2 x 2,5 x 2,2 Meter passe der kompakte „ORC-Würfel“ für die Nutzung der Motorwärme außerdem gut in das vorhandene Gebäude des Blockheizkraftwerkes.

Nach Aussage des Herstellers sind europaweit mittlerweile 22 Green Machine mit bisher insgesamt über 100.000 Laufstunden an Biogasanlagen im Einsatz. „Die Betreiber schätzen vor allem die Teillastfähigkeit und die Zuverlässigkeit unserer ORC-Aggregate“, sagt Maarten van Cleef. So liege die Verfügbarkeit bei durchschnittlich 97 Prozent. Dies ermögliche kurze Amortisationszeiten der Green Machine.

Als Komponente für den Hochtemperaturbereich entschied sich der Betreiber für die

SteamDrive vom Maschinenbauer Voith. Bei dem System wird mit der Abgaswärme aus Verbrennungsmotoren Wasserdampf erzeugt und dann mithilfe eines Hubkolbenexpanders in Drehmoment umgewandelt. Die mechanische Arbeit dieser Hightech-Dampfmaschine treibt dann einen eigenen Generator zur Stromerzeugung an.

„Motorabgase haben eine Temperatur von etwa 500 °C. Um diese Energie umfassend zu nutzen, ist Wasser das beste und umweltverträglichste Arbeitsmedium. Keine der im ORC-Prozess eingesetzten organischen Flüssigkeiten lässt sich so weit überhitzen. Deren Stärke liegt ja eher im niedrigen Temperaturbereich“, sagt Juergen Berger, Leiter SteamDrive-Abwärmenutzungssysteme bei Voith Turbo in Heidenheim.

Die je nach Leistungsklasse (20 bis 250 kW) mit bis zu sechs Zylindern ausgestattete Voith-Expansionsmaschine arbeitet mit 380°C heißem Dampf bei einem Druck von bis zu 60 bar. Das im Zylinderraum entspannte Arbeitsmedium kondensiert im Kondensationswärmetauscher und gelangt wieder in den Arbeitsmedientank. Mit dem Erhitzen des Wassers im Abgaswärmetauscher beginnt der Kreislaufprozess von neuem.

Die exakte Regelung und Überwachung des gesamten Prozesses übernimmt eine Systemsteuerung, die bei Voith speziell entwickelt wurde. Sie sorgt zum Beispiel dafür, dass die Speisepumpe schnell und präzise auf Temperaturschwankungen in den Abgasen des BHKW reagiert. „Je niedriger das Wärmeangebot, desto geringer muss auch die Speisewassermenge sein, damit sich der Dampfdruck zum entsprechenden Arbeitspunkt einstellt“, erläutert der Ingenieur. Gegenwärtig liefen 15 Vorserienanlagen im Bereich BHKW.

### Nachverstromung statt Gärproduktttrocknung

Ein Vorteil des Umlaufmittels Wasser bei diesem als CRC (Clausius Rankine Cycle) bezeichneten Prozess ist, dass dieses Medium bei knapp unter 100 °C kondensiert – die ideale Temperatur zur Wärmeauskopplung zum Beispiel für die nachfolgende Verstromung in einem ORC-Modul. Nach der Wahl der Komponenten ging es nun darum, beide Aggregate so in ein System einzubinden, dass eine optimale und kontinuierliche Verstromung der gesamten BHKW-Abwärme gewährleistet wird. Dafür entwickelte SE-

Tech in Zusammenarbeit mit einem Ingenieurbüro eine Steuerungssoftware und begann im Frühjahr 2012 mit dem Aufbau der etwa 350.000 Euro teuren Pilotanlage an der Hunteburger Straße in Bohmte.

Auf dem Gewerbegebiet arbeitet eines der Satelliten-BHKW der mit einem Mais-Mist-Gemisch betriebenen Zwei-MW-Biogasanlage der Ruhe Agrar GmbH. Die thermische Energie (604 kW<sub>th</sub>) des GE Jenbacher-Motors 312 mit einer elektrischen Leistung von 538 kW heizt Gebäude und eine Ferkelaufzuchtanlage. Mit der nicht zu Heizzwecken genutzten Wärme wurden bisher Gärrückstände getrocknet. Dieser Teil der Wärmemenge geht jetzt in die Nachverstromung. Wegen der kompakten Bauformen konnten sowohl die SteamDrive als auch die Green Machine im vorhandenen Maschinenhaus des Satelliten-BHKW untergebracht werden.

**Ziel: Jedes Kilowatt verfügbare Wärme nutzen**

Und so arbeiten die beiden Verstromungseinheiten seit Anfang dieses Jahres zusammen: Die 450 bis 500 °C heißen Motorabgase durchströmen einen Dampferzeuger. Dabei entsteht Wasserdampf, der mit einer Temperatur von 380 °C und einem Druck von 40 bis 50 bar die Dampfmaschine und den daran angeschlossenen Generator antreibt. Nach der Umwandlung in Arbeit und der Entspannung wird der Dampf im Kondensator verflüssigt.

übernimmt, ist hierfür kein gesonderter Kühlkreislauf notwendig. Dies verbessert die Effizienz der Dampfmaschine. Insgesamt erhöht sich die Gesamtleistung des BHKW in Bohmte durch das Zusammenspiel von CRC- und ORC-Modul im Tandem-Verstromungssystem nach Berechnungen von SE-Tech um 10 Prozent. Dabei liegt die Leistung der SteamDrive bei maximal 30 kW und die der Green Machine bei bis zu 35 kW. Wenn die gesamten 604 kW<sub>th</sub> des GE Jenbacher-Motors zur Verfügung stehen, beträgt die elektrische Leistung des Tandems also 65 kW. Das ist etwa doppelt so viel, wie mit herkömmlichen ORC-Systemen.

Dieser Idealfall tritt in Bohmte allerdings wegen der örtlichen Gegebenheiten eher selten ein. Denn nicht nur bei der BHKW-Wärme haben Heizung und Ferkelaufzucht in der Regelungstechnik Vorrang. Auch das Satelliten-BHKW selbst ist aus betriebsinternen Gründen gegenüber einem weiteren Satelliten-BHKW und einem BHKW auf dem zwei Kilometer entfernten Gelände der Biogasanlage nachrangig geschaltet. Folge: Während die SteamDrive praktisch immer läuft, solange das BHKW in Betrieb ist, könnten die Rahmenbedingungen für die Green Machine kaum anspruchsvoller sein. Denn bei erhöhtem Wärmebedarf, etwa beim Einstellen in der Ferkelaufzuchtanlage, muss das dann niedriger temperierte Heizungswasser im Rücklauf gegebenenfalls vor dem Einsatz für die Motorkühlung auf die geforderten 75 °C

„Endgültige Rechtssicherheit zum Anlagenbegriff und zur sogenannten Addition von Anlagen wird wohl ein für dieses Jahr erwartetes BGH-Urteil bringen“

Martin Maslaton

Die hier freiwerdende Kondensationswärme der SteamDrive verpufft jedoch nicht, sondern wechselt in den Niedertemperaturbereich. Sie hebt in einem Wärmetauscher das Motorkühlwasser von 86 bis 88 °C auf 90 bis 92 °C an, bevor es in der Green Machine Strom erzeugt. Nach der Energieübergabe an das Umlaufmittel des ORC-Prozesses hat das Wasser noch eine Temperatur von 75 bis 80 °C und kann für Heizzwecke eingesetzt werden, bevor es zurück in den Kühlkreislauf des Motors fließt. Da die Green Machine die Kondensationswärme der SteamDrive

angehoben werden. Die dafür benötigte Energie wird unter anderem über einen Wärmetauscher nach der Dampfmaschine und damit zulasten der ORC-Anlage entnommen.

**Teillastfähigkeit bewährt sich**

„Gerade in solchen Situationen erweist sich allerdings die Teillastfähigkeit der Green Machine als entscheidender Vorteil“, sagt Stefan Farwick. Er zeigt auf ein Handyfoto vom Kontroll-Display der Green Machine: „Hier hat der Vorlauf gerade mal 82,6 °C. Dennoch liefert das ORC-Modul noch 25,54 ▶

Ihr kompetenter Ansprechpartner für professionelle Siloabdeckung

**Neu: powerfol DOUBLE BARRIER 2in1**  
die 2in1-Folie von Zill bis zu 80% Zeitersparnis!



- Siloschutzgitter
- Silosäcke
- Silosackbefestigung
- Silofolien
- Unterziehfolien



**Neu: Folienabrollgestell**  
für Großrollen feuerverzinkt CE-geprüft



Synthetische Gewebe & Folien für Agrar & Industrie

**Zill GmbH & Co. KG**  
Hanns-Martin-Schleyer-Str. 31 · D-89415 Lauingen  
Tel. +49 9072 9581 0 · Fax +49 9072 9581 30  
info@zillnet.de · [www.zillnet.de](http://www.zillnet.de)

kW.“ Kurzzeitig könnten auch 300 kW und mehr von der Motorwärme in die Heizung gehen. Dann gehe die Verstromung zwar auf 10 oder 15 kW runter und auch der Wirkungsgrad des ORC-Aggregates sinke, aber es gebe eben keine Unterbrechungen in der kompletten Wärmeabnahme und damit beim KWK-Bonus.

Dies ist von besonderer Bedeutung, da sowohl das Satelliten-BHKW als auch das nachgeschaltete Tandem-Verstromungssystem vom zuständigen Netzbetreiber als jeweils eigenständige Anlagen gewertet werden, mit allen Konsequenzen, die sich dar-

## Wettbewerber plant ebenfalls Kombianlage

An einem System zur Nachverstromung, bei dem ein Niedertemperatur-ORC-Aggregat mit einer Hochtemperatur-SRC-Anlage kombiniert wird, arbeitet auch die Conpower Beteiligung GmbH in

Planegg (Bayern). Nach Aussage von Sascha Lutz (Marketing) ist die erste Installation eines solchen Projekts im vierten Quartal dieses Jahres in Platten geplant.

aus für die Vergütung der vom BHKW und von der Nachverstromung eingespeisten elektrischen Energie ergeben. „Insbesondere die hohe Teillastfähigkeit und das robuste Betriebsverhalten der Anlage haben uns

sehr erfreut“, zeigt sich daher auch Kuni- bert Ruhe, Geschäftsführer der Ruhe Agrar GmbH, zufrieden.

Stefan Farwick empfiehlt, in jedem Fall die Vergütungsfrage vor Realisierung einer Nachverstromungsanlage mit dem Netzbetreiber abzustimmen. Das rät auch Prof. Dr. Martin Maslaton von der Maslaton Rechtsanwaltsgesellschaft mbH. „Nach meiner Rechtsauffassung und übrigens auch nach Meinung der Clearingstelle EEG sind BHKW sowie ORC-Module immer eigenständige Anlagen, auch dann, wenn sie gemeinsam Einrichtungen, wie zum Beispiel einen Fermenter, nutzen. Als logische Konsequenz daraus ist der erzeugte Strom in diesen separaten Anlagen entsprechend nach dem für den Inbetriebnahmezeitpunkt zutreffenden EEG zu vergüten“, so der Rechtsexper-

Maarten van Cleef von ElectraTherm und die SE-Tech-Geschäftsführer Serdar Cetin und Stefan Farwick (von links) vor der Green Machine bei der Auswertung der Betriebsdaten der Tandem-Verstromungsanlage.



# RENEXPO<sup>®</sup>

## SOUTH-EAST EUROPE

6. Internationale Fachmesse und Konferenzen für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz



...for a powerful future

RENEXPO<sup>®</sup> Bio & Co erwartet Sie in 2013 mit:

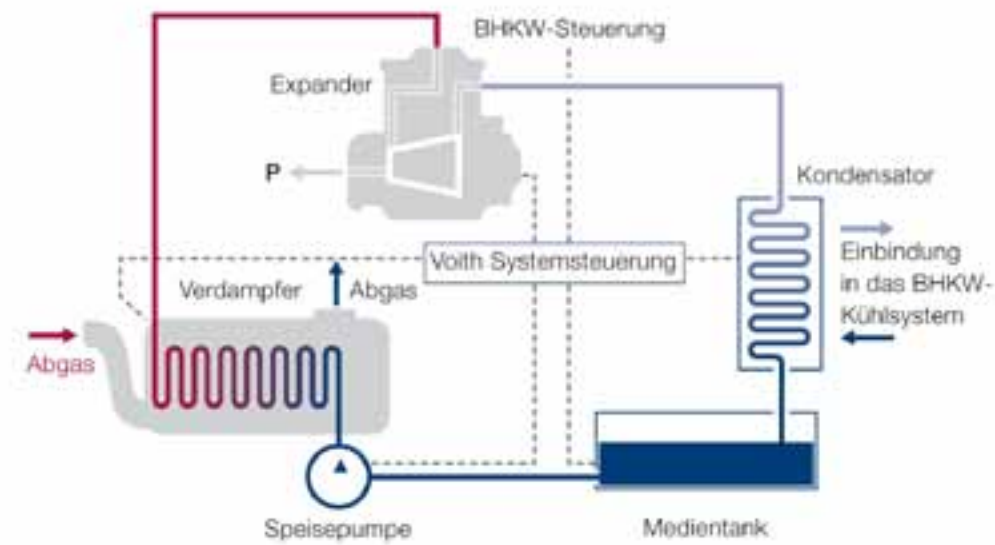
- » 1. internationales Forum - Biogasherstellungstechnologien in Rumänien
- » 6. internationaler Fachkongress - Biomasse in Rumänien
- » 2. Workshop: KWK & District Heating
- » Bio & Co Lounge (für internationale Verbände im Bereich Bioenergie)



20. - 22. November 2013  
EXPOROM Bukarest, Rumänien

[www.renexpo-bucharest.com](http://www.renexpo-bucharest.com)

### Funktionsweise des SteamTrac-Systems



GRAFIK: VOITH TURBO GMBH & CO. KG

Funktionsweise des SteamDrive-Systems von Voith Turbo. Der gesamte Prozess und die Einbindung in das BHKW werden durch eine spezielle Systemsteuerung geregelt und überwacht.

te. Leider gebe es aber noch Netzbetreiber sowie ein OLG Urteil, die das anders sehen. Im schlimmsten Fall würden die Biogas-erzeugung und die Umwandlung zu Strom zum Beispiel in einem Satelliten-BHKW einschließlich Nachverstromung zu einer Anlage „verklammert“. Bei Anlagen, die ab 2009 und vor 2012 in Betrieb gingen, werde dann die ORC-Anlage nicht mal als Wärmekonzept anerkannt. Eine rechtliche Prüfung im konkreten Fall sei also gegenwärtig unabdingbar, um Überraschungen bei der Vergütung des erzeugten Stromes zu vermeiden. „Endgültige Rechtssicherheit zum Anlagenbegriff und zur sogenannten Addition von Anlagen wird

wohl ein für dieses Jahr erwartetes BGH-Urteil bringen“, hofft Martin Maslaton, dessen Kanzlei das Verfahren betreibt. Die Entwickler bei SE-Tech sind jedenfalls überzeugt, dass sich die von ihnen konzipierte und erprobte Tandemlösung bei entsprechenden Gegebenheiten gut amortisiert, auch wenn die rechtlichen Rahmenbedingungen vielleicht nicht ganz so optimal sind. Mit der GML Leasing gibt es zudem einen Kooperationspartner, der eine bis zu 100-prozentige Finanzierung anbietet. „Auch Energie-Contracting ist möglich“, sagt Serdar Cetin. In diesem Fall bleibt die Tandemverstromungsanlage im Besitz der

SE-Tech, während der Anlagenbetreiber von dem Wärmeverkauf und dem KWK-Bonus für den von seinem BHKW erzeugten Strom profitiert. ◀

**Autor**

**Dipl.-Journ. Wolfgang Rudolph**  
 Rudolph-Reportagen - Landwirtschaft, Umwelt, Erneuerbare Energien  
 Kirchweg 10 · 04651 Bad Lausick  
 Tel. 03 43 45/26 90 40  
 E-Mail: info@rudolph-reportagen.de  
 www.rudolph-reportagen.de

# BESTSTOFFDOSIERER



## ... individuell für Sie

Die Feststoffdosierer von BvL sind mit eigens für Biogas entwickelten Dosierschnecken ausgestattet. Das minimiert den Kraftbedarf, ermöglicht exaktes Dosieren

und die Verarbeitung von längeren Materialien. BvL liefert individuelle Lösungen für den Feststoffdosierer und für die Einbringtechnik.



**Innovativ. Erfahren. Stark.**  
 D-48488 Emsbüren  
 Tel.: +49 5903/951-0  
 www.bvl-group.de