

Blowing in the wind

ORC | Die industrielle Abwärme, die derzeit ungenutzt verpufft, entspricht der Leistung von vier großen Atomkraftwerken. Dieses riesige Potenzial könnte mit der ORC-Technologie gehoben werden. Veränderte Rahmenbedingungen verbessern deren Wirtschaftlichkeit. Wir zeigen einige interessante Beispiele.

Die Stromerzeugung aus Abwärme bietet ein gewaltiges Potenzial zur nachhaltigen Energiegewinnung. Zum Einsatz kommen dabei spezielle Dampfturbinen oder Hubkolbenexpander, die einen Stromgenerator antreiben (siehe dazu auch *joule 4/2014*). Bei Eingangstemperaturen unter 100 °C, etwa bei der Verwendung von Motorkühlwasser, arbeiten die Turbinen auf der Grundlage der Organic-Rankine-Cycle-Technologie (ORC) mit organischen Flüssigkeiten, deren Verdampfungstemperatur niedriger liegt als die von Wasser.

Nach einer Schätzung des ORC-Fachverbandes könnte aus der industriellen Abwärme, die gegenwärtig in Deutschland noch verpufft, eine Energiemenge bereitgestellt werden, die vier große Kernkraftwerke ersetzt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine Studie des Fraunhofer Institutes, die diese Energiereserve mit fünf Gigawatt beziffert. Bei Herstellungsprozessen, die unter hohen Temperaturen ablaufen, zum Beispiel in Stahlwerken, wird seit Jahrzehnten mit ausgereifter Technik anfallende Abwärme verstromt. Der Löwenanteil des noch ungenutzten Abwärmepotenzials ist jedoch stark zersplittert – unzählige kleine Abwärmequellen im Bereich von wenigen bis einigen hundert kW. Darunter die BHKW-Abwärme von Biogasanlagen. Seit längerem gibt es Bestrebungen, auch diese thermische Energie in Strom umzuwandeln. Bisher scheiterte der Durchbruch an der Wirtschaftlichkeit. Doch jetzt erhält die technologische Entwicklung zur Verstromung von Wärme im kleinen Leistungsbereich einen neuen Impuls. Denn sinkende Vergütungssätze für den erzeugten Strom bei gleichzeitig steigenden

Betriebskosten und die insgesamt schwieriger werdenden Rahmenbedingungen u. a. durch Umweltauflagen mindern den Kapitalertrag von Biogasanlagen. Durch die Verstromung überschüssiger Abwärme ließen sich der Gesamtwirkungsgrad des BHKW um zwei bis drei Prozentpunkte verbessern und zusätzliche Einnahmen aus dem Stromerlös erzielen. Hinzu kommt eine energierechtliche Besonderheit für Bestandsanlagen: Durch die Nachrüstung mit einem Verstromungsmodul lässt sich unter bestimmten Umständen der KWK-Bonus erneut auslösen, ohne dass der Motor nach der Grenze von 30.000 Betriebsstunden durch ein neues Aggregat ersetzt werden muss.

ePack: Plug & Play mit Standardkomponenten

Doch wie lässt sich aus der Abwärme zeitnah ein wirtschaftlicher Zugewinn erzielen? Diese Frage stellten sich auch Wissenschaftler an der Technischen Universität München. Sie forschen seit 2004 an der Weiterentwicklung der ORC-Technologie und führten eine Reihe von Ideen zur Patentreife. Darauf aufbauend gründeten die drei heutigen Geschäftsführer die Orcan Energy GmbH. Die Lösung für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von ORC-Modulen sehen die Firmengründer in der Verwendung von Industrie-Standardkomponenten, wie sie sich zum Beispiel im Automobilbau durchgesetzt haben. „Vorbild für die Entwicklung unseres ePack ist die Kleinwagenproduktion. Was man da bereits für einige tausend Euro an Hightech und Design bekommt, ist schon beeindruckend“, sagt Geschäftsführer Dr. Andreas Sichert. Das Geheim-

nis der preisgünstigen Kleinwagen liege nicht nur in hohen Stückzahlen, sondern ebenso im Einsatz bewährter Standardkomponenten von hochspezialisierten Zulieferern, meist mittelständische Unternehmen mit langer Entwicklungserfahrung. „Wir haben solche Zulieferer für die Herstellung von ORC-Modulen gesucht und gefunden“, berichtet Sichert. In Zusammenarbeit mit diesen Unternehmen habe man dann die Bauteile, ähnlich wie das im Automobilbau beim jeweiligen Fahrzeugmodell geschieht, an die Erfordernisse des ORC-Moduls von Orcan Energy angepasst. Als Beispiel verweist der Physiker auf das Herz der Anlage, die Turbine. Die Schraubenexpansionsmaschine eines renommierten Herstellers bewährt sich seit Jahrzehnten in der Klima- und Kältetechnik. Sie wurde durch die Umkehr der Drehrichtung für die Abwärmeverstromung modifiziert, ohne dabei, wie Sichert betont, die mechanische Belastung zu erhöhen. Auch die Kondensatoren, in denen das Arbeitsmedium als eine Besonderheit des ePacks direkt, also ohne einen Zwischenkreislauf, verflüssigt, sind Standardkomponenten aus der Klimatechnik. Das für ORC-Anlagen typische Problem der materialzerstörenden Mikroblasen (Kavitation) in der Speisepumpe des organischen Arbeitsmediums wurde nach Unternehmensaussage durch ein zum Patent angemeldetes Systemdesign gelöst. Dadurch kann auch hier eine Pumpe nach Industrie-standard eingesetzt werden.

Das Ergebnis sei ein in Serie gefertigtes Plug & Play ORC-Modul mit einer Nettoleistung (d. h. abzüglich des Eigenstromverbrauchs) von 20 kW_{el} und definierten Schnittstellen zum Kühlkreislauf

und den Motorabgasen oder zur Wärmeauskopplung. „Wir wollten weg vom Anlagenbau zum Produkt mit Standardkomponenten. Deshalb lag unser Fokus bei der Entwicklung nicht so sehr bei der Kommastrategie für den technischen Wirkungsgrad, sondern auf den Kosten, also letztlich dem Kapital-Wirkungsgrad“, erläutert der Geschäftsführer. Die Investitionskosten für den betriebsbereite ePack in der Grundaufbauform, also einschließlich Kondensator und Abgaswärmeübertrager, beziffert er mit etwa 5.000 Euro pro kW_{el}.

Im vergangenen Jahr installierte das Münchener Startup-Unternehmen die ersten 15 ePacks. Eines der Module arbeitet auf der 605 kW-Biogasanlage der Bioenergie Hiltoltstein im Landkreis Forchheim (Bayern), eine Tochter des Stromversorgers Naturstrom AG. Etwa die Hälfte der thermischen Leistung der beiden BHKW versorgt öffentliche Gebäude und private Haushalte in Hiltoltstein mit Nahwärme. „Die Verstromung der noch ungenutzten Abwärme passt sehr gut in unser Energieeffizienz-Konzept und der ePack arbeitet seit der Installation im Dezember 2013 zuverlässig“, sagt Christof Thoss, Leiter Bereich Biogas bei der Naturstrom AG.

Green Machine: Verstromung bereits ab 77 °C

In der „Green Machine“ des US-amerikanischen Herstellers ElectraTherm kommt ein an der Universität London entwickelter Doppelschraubenexpander (Twin Screw Expander) zum Einsatz. „Dieser Expander treibt auch im ‚nassen‘ Zustand den Kraftwerksblock an“, erläutert Maarten van Cleef, Europa-Verkaufschef des Unternehmens. 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



Der ePack des Startup-Unternehmens Orcan wurde bereits 15 mal installiert. Hier das ORC-Modul an der Biogasanlage in Hiltpoltstein.

Foto: Werkbild Orcan Energy GmbH



Die Abgase des Satelliten-BHKW der Biogasanlage in Hermannshof liefern die thermische Energie für die SteamDrive. Links der neue Wärmetauscher mit Vorrangregelung.

Foto: Werkbild SteamDrive GmbH

daher schon bei einer Eingangstemperatur von 77 °C und einer Fließgeschwindigkeit des Heißwassers von 3,8 l/s. Die sich daraus ergebende Teillastfähigkeit sichert bei schwankendem Angebot an thermischer Energie eine hohe Verfügbarkeit. Der Manager verweist zudem auf eine besondere Robustheit des kompakten

„ORC-Würfels“. So erfolge die Schmierung integriert über einen Zusatz zum Umlaufmittel, was eine Schmieranlage überflüssig macht. Auch ein Getriebe vor dem Generator sei wegen der geringen Betriebsdrehzahl nicht notwendig. Die „Green Machine“ gibt es in drei Ausführungen:

- Typ 4011 bis 35 kW_{el} für BHKW

- bis zu 500 kW_{el},
 - Typ 4010 bis 65 kW_{el} für BHKW bis zu 800 kW_{el} und
 - Typ 4020 bis 110 kW_{el} für BHKW bis zu 1.500 kW_{el}.
- Nach Aussage des Herstellers sind europaweit mittlerweile 22 Green Machine in Biogasanlagen im Einsatz, davon vier in Deutschland. Darunter die Anlage, die der deut-

sche Vertriebspartner Etatherm an der Biogasanlage der TW Biogas Bau und Service GmbH in Damsdorf (Kloster Lehnin, Brandenburg) installiert hat. Die BGA mit einer elektrischen Leistung von 800 kW ging 2012 ans Netz und wird mit Pferde- und Rindermist, Hühnertrockenkot, Rindergülle sowie kleine Mengen Maissilage

Hubladenbandtrockner **NEU!!**

-Biogasanlage vor Ort

mbH • Hassenham 4 • 84419 Schwindegg
7190-31 • Mail: info@geisberger-gmbh.de

oder Grünroggen, im Winter auch Zuckerrüben, gefüttert. 450 kW der vom BHKW erzeugten thermischen Energie kauft Etatherm dem Betreiber der Biogasanlage für die Verstromung ab. Dazu wird die Wärme des Motorkühlwassers mit der Energie der heißen Motorabgase über Wärmetauscher auf etwa 95 °C angehoben und schließlich über einen weiteren Wärmetauscher in die ORC-Anlage geführt. „Im Moment liegt die Eingangstemperatur nur bei 93°C, weil das BHKW nach einer Wartung gerade wieder hoch gefahren wird. Die Green Machine macht daraus 28 kW Strom“, deutet Etatherm-Geschäftsführer Gerd Knospe auf die entsprechenden Messgeräte am Modul. Im Jahresschnitt liefert die ORC-Anlage 32 kW_{el} bei einem Wirkungsgrad von 7 %. Der Eigenstromverbrauch liegt bei 2 bis 3 kW_{el} für die Maschine und 5 bis 6 kW_{el} für die Lüfter. Seit Juni 2012 laufe die ORC-Anlage weitgehend störungsfrei. Die Einspeisung des erzeugten Stroms wird mit 22,3 ct/kWh vergütet. Das ist der gleiche Vergütungssatz wie für die Biogasanlage. „Ich gehe davon aus, dass sich die Investitionskosten in Höhe von 230.000 € in zwei bis drei Jahren amortisiert haben“, so Knospe.

SteamDrive: Hightech-Dampfmaschine

Die Ingenieure der SteamDrive GmbH setzen ganz auf das bewährte Arbeitsmedium Wasser. Das in Heidenheim ansässige Unternehmen entwickelte ein System, das Abgaswärme aus Verbrennungsmotoren mit Hilfe eines Hubkolbenexpanders in Drehmoment umwandelt. Die mechanische Arbeit dieser „Hightech-Dampfmaschine“ treibt dann beim Modell SteamDrive einen eigenen Generator für die Stromerzeugung an. Bei der Lösung SteamTrac wirkt der Expander dagegen über eine Schaltkupplung und eine drehelastische Anbindung direkt auf den Antriebsstrang des BHKW.



Der „ORC-Würfel“ mit Kondensationsanlage zwischen BHKW und Fermenter der Biogasanlage im brandenburgischen Damsdorf.

Foto: Carmen Rudolph



Auf dem Smartphone kann Etatherm-Geschäftsführer Gerd Knospe den Betriebszustand der Green Machine checken.

Foto: Carmen Rudolph

Damit wird die zurück gewonnene Energie durch den Hauptgenerator des BHKW in elektrische Energie umgewandelt und zusammen mit der Leistung des Verbrennungsmotors in das Netz eingespeist. Beide Ausführungen beziehen die Wärmeenergie über Abgaswärmetauscher. „Hier herrschen Temperaturen um die 500 Grad. Um diese Energie umfassend zu nutzen, ist Wasser das beste und umweltverträglichste Arbeitsmedium. Keine der im ORC-Prozess eingesetzten organischen Flüssigkeiten lassen sich so weit überhitzen“, sagt Geschäftsführer Jürgen Berger. Ein weiterer Vorteil von Wasser bei diesem als CRC (Clausius Rankine Cycle) bezeichneten Prozess sei, dass dieses Medium bei knapp unter 100 °C kondensiert – die ideale Temperatur zur Wärmeauskopplung für ein Fernwärmenetz.

Die Expansionsmaschine arbeitet mit 380 °C heißem Dampf bei einem Druck von bis zu 60 bar. Im Biogasbereich kommt vor allem die SteamDrive 30 zum Einsatz. Sie hat eine Nennleistung von 30 kW_{el} und benötigt eine Gas-

motorenleistung von 400 kW_{el}. Die Anpassung der SteamDrive an die unterschiedlichen Einsatzbedingungen erfolgt über verschiedene dafür entwickelte Bauarten von Abgaswärmetauschern.

„Neben den 15 Vorserienanlagen, die nach Überwindung von Kinderkrankheiten inzwischen gut laufen und teilweise über die Nennleistung hinaus bis zu 36 kW_{el} liefern, haben wir jetzt zwei weitere SteamDrive für die Nachrüstung von Biogasanlagen ausgeliefert“, informiert Berger. Zu den Anwendern eines SteamDrive-Systems gehören die Landwirte Bernhard Schmid und Raimar Beckmann. Schmid betreibt in Riedlingen-Bechingen (Baden-Württemberg) neben seinem Milchviehstall mit 70 Kühen seit 2001 eine güllebasierte Biogasanlage. Die Wärme aus der Motorkühlung der beiden BHKW mit einer Leistung von je 190 kW wird als Prozesswärme sowie für die Heizung des Stallgebäudes und mehrerer Mehrfamilienhäuser im Ortskern eingesetzt. Um auch die Motorabgase zu nutzen, erfolgte 2012 die Nachrüstung

mit einer SteamDrive 30. Das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg förderte die Maßnahme mit 35.600 €. Aus Platzgründen entschied man sich, den Container für die Abgasverstromung auf dem BHKW-Container zu montieren. Dadurch verteuerte sich die für eine SteamDrive eigentlich notwendige Investition von 120.000 um etwa 15.000 €. Die nach der Verstromung verbleibende thermische Energie geht an besonders kalten Tagen in das Nahwärmenetz. Vor allem aber speist sie insbesondere im Sommerhalbjahr eine mobile Trocknungsanlage für Scheitholz, Hackschnitzel und Getreide.

„Die SteamDrive liefert im Schnitt 25 kW elektrische Energie und läuft seit einem Jahr sehr zuverlässig“, sagt Schmid. Der Strom fließt über die Zähler der beiden BHKW und wird vom Energieversorger ENBW mit 20 Cent vergütet. Durch zusätzliche Stromeinnahmen von rund 38.000 € im Jahr und die erweiterte Wärmenutzung rechnet der Betreiber mit einer Amortisationszeit von drei bis dreieinhalb Jahren.

Landwirt Raimar Beckmann in Hermannshof (Mecklenburg-Vorpommern) komplettierte das Satelliten-BHKW (550 kW) seiner 1,65 MW-Biogasanlage mit einer Abgasverstromung. Die Wärme der Motorkühlung des Satelliten-BHKW beheizt über ein Nahwärmenetz 27 Ein-

familienhäuser im Ort sowie eine Trocknungsanlage. Sinkt die Außentemperatur unter -10 °C , wird über einen Wärmetauscher zusätzlich Abgaswärme zugeschaltet. „Das sind aber nur wenige Tage im Jahr“, sagt Beckmann. Der Abgaswärmetauscher wurde durch einen Wärmetauscher mit Klappenregelung ersetzt und die SteamDrive 30 über einen Bypass eingebunden.

Reicht die Motorwärme für die Gebäudeheizung, geht die gesamte Abgaswärme in die SteamDrive. Andernfalls wird nur ein Teil der heißen Motorabgase verstromt. „Das klappt sehr gut, zumal auch die Kondensationswärme der SteamDrive nicht verloren geht, sondern für das Nahwärmenetz zur Verfügung steht“, meint der Landwirt. Die zusätzlich erzeugte elektrische Energie nutzt er als Eigenstrom in seinem Betriebsnetz. (ha)

Wolfgang Rudolph

Im nächsten Heft stellt der Autor weitere Beispiele für eine wirtschaftlich erfolgreiche Abwärmeverstromung vor und gibt einen Ausblick auf die zu erwartende technologische Entwicklung bei der Wärmeverstromung im kleinen Leistungsbereich.