

Stromreserven in der Abwärme

ORC | Bei der Verstromung von BHKW-Abwärme mittels ORC-Anlagen konkurrieren unterschiedliche Konzepte. Knackpunkt ist nach wie vor die Wirtschaftlichkeit.

Heutige Biogas-Motoren weisen einen elektrischen Wirkungsgrad von etwa 40 % auf, somit fallen rund 60 % der mit dem Biogas eingesetzten Energie als Abwärme an. Lohnt es sich, diese thermische Energie mit so genannten ORC-Technologien (siehe Kasten) ebenfalls in Strom umzuwandeln? Darüber lässt sich offenbar so trefflich streiten wie über ein Fußballspiel. Hier wie da stehen sehr viele Meinungen einer überschaubaren Zahl wirklich aktiver Spieler gegenüber. In unserem Fall sind das Hersteller von ORC-Anlagen. Sie verfolgen unterschiedliche Konzepte der Wärmeauskopplung und zur Umwandlung der thermischen Energie in Strom. So gibt es Lösungen, die ausschließlich die 400 bis 500 °C heißen Motorabgase nutzen. Andere beziehen die Wärme aus dem Kühlwasserkreislauf des BHKW-Motors mit einer Temperatur von etwa 90 °C. Möglich ist auch eine Kombination beider Wärmebereiche. Bei den Expandertechnologien für den Generatorantrieb reicht die Palette vom Luftdruckmotor über Kolbenexpansionsmaschinen, Schraubenexpander bis zum Turbogenerator.



An der Versuchsanlage im Labor der Universität Bayreuth wird an der Verbesserung des Wirkungsgrades geforscht.

Foto: Universität Bayreuth

Naturgesetze lassen sich nicht überlisten

„Das Ganze ist wirklich schwer überschaubar“, meint Thomas Nehring, Geschäftsführer der Ormatic GmbH. Obwohl sein Unternehmen spezialisiertes Unternehmen selbst an der Weiterentwicklung der ORC-Technologie

im Rahmen eines Forschungsprojektes beteiligt ist, schätzt er die gegenwärtige Situation in diesem Bereich als äußerst schwierig ein. Einen Grund dafür sieht er in der praktischen Anwendung des Technologie-Bonus, der im EEG 2009 auch für die ORC-Abwärmeverstromung galt. Mit dem EEG 2012 wurde diese Technologie in die Positivliste

für die Ermittlung des zwingend vorgeschriebenen KWK-Stromanteils aufgenommen. „Gedacht ist das als Anreiz für eine bessere Wärmenutzung und zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades von Biogasanlagen. Heraus kommen aber manchmal reine Wärmeverbrauchssysteme mit äußerst geringem Effekt. Das hat der ORC-Technologie eher geschadet als sie befördert“, ist der Diplomingenieur überzeugt. Das sehen andere Branchenvertreter vielleicht differenzierter. Einig sind sich die Experten allerdings in zwei Punkten: Erstens ist es in der Regel effizienter, Wärme auch als Wärme zu nutzen, ggf. über eine Zwischenpufferung, etwa zum Heizen oder Trocknen. Sollte am Standort keine sinnvolle Anwendung möglich sein und ginge die Wärme somit verloren, ist die Verstromung eine Option. Zweitens gilt dann aber: Naturgesetze lassen sich nicht überlisten. „Natürlich auch nicht der 2. Hauptsatz der Thermodynamik“, konstatiert Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann, Inhaber des Lehrstuhls für Technische Thermodynamik und Transportprozesse an der Universität Bayreuth. Demnach wird der Wirkungsgrad maßgeblich vom Verhältnis zwischen der Wärmemenge, die für den ORC-Prozess zur Verfügung steht, und der Umgebungstemperatur bestimmt. Liefern die Wär-

So funktioniert der ORC-Prozess

Der Organic Rankine Cycle (ORC)-Prozess ist ein bereits seit 40 Jahren bekanntes Verfahren zum Betrieb von Dampfturbinen. Anstelle von Wasser werden jedoch organische Medien mit einer niedrigeren Verdampfungstemperatur, zum Beispiel Kohlenwasserstoffe oder Silikonöle, als Arbeitsmittel verwendet. Die Wärmequelle wird in

zwei Schritten mit dem ORC-Arbeitsmedium gekoppelt. Zunächst erfolgt im Vorwärmer (hellblau) die Erwärmung des Arbeitsmittels bis zum Siedepunkt und anschließend die vollständige Verdampfung (dunkelblau). Der Dampf wird in einer Turbine entspannt und die mechanische Arbeit im Generator in elektrische Energie umgewandelt (orange).

Die Verflüssigung des Arbeitsmittels im Kondensator (gelb) und die Druckerhöhung durch die Speisepumpe (hellgrün) vervollständigen den Kreisprozess. Der im CAD-Modell grün dargestellte Rekuperator dient der internen Wärmerückgewinnung.

Wolfgang Rudolph



metauscher am Abgasrohr oder im Kühlkreislauf des BHKW das Heißwasser für die Abwärmeverstromung mit relativ konstanter Temperatur und Durchflussmenge, ist die Außentemperatur der entscheidende Faktor. Deshalb haben ORC-Anlagen im Sommer immer einen schlechteren Wirkungsgrad und liefern weniger Strom als in der kälteren Jahreszeit. Schwankt auch die verfügbare Wärmemenge, weil zum Beispiel zeitweise Wärme für andere Zwecke zum Einsatz kommt, wird die Steuerung noch komplexer. Für die Wirtschaftlichkeit der Verstromung von Abwärme spielen darüber hinaus eine Reihe systemimmanenter Faktoren eine Rolle, etwa die Expandertechnologie, die Effizienz der Wärmeübertragung oder die Eigenschaften des im ORC-Prozess eingesetzten Arbeitsmittels.

Großes ORC-Potenzial bei Nachrüstung

Brüggemann sieht vor allem bei der Nachrüstung bestehender Biogasanlagen, die die anfal-

lende Abwärme gar nicht oder nur partiell nutzen können, Potenzial für die ORC-Technologie. Entsprechend der Größe der meisten Biogasanlagen mit einer Leistung von durchschnittlich 460 kW_{el} sind aber vor allem ORC-Anlagen im kleinen Leistungsbereich gefragt. „Je niedriger die Leistungsgrenze der Verstromungsanlage und damit ihr Wärmebedarf, desto umfangreicher die Einsatzmöglichkeiten und desto größer der Markt“, bringt es der Wissenschaftler auf eine Formel. Das Problem: Bei einem angestrebten niedrigen Wärmebedarf für die Verstromung gestaltet sich naturgemäß das Verhältnis zwischen der nun geringeren Wärmemenge und der unveränderten Umgebungstemperatur ungünstiger. Damit sinkt der Wirkungsgrad. Um diesen Makel wenigstens teilweise zu kompensieren, entwickeln die Ingenieure der Hersteller in Zusammenarbeit mit Forschern wahre Hightech-Maschinen. Das verteuert den Preis pro installierter kW, was die Vermarktung erschwert. „Aber das Bei-

Wir sprechen Wirtschaft.

agrarmanager – das Wirtschaftsmagazin für Entscheider in der Landwirtschaft!

www.agrarmanager.com



spiel Photovoltaik hat gezeigt, dass Wirtschaftlichkeit für viele nicht das alleinige Kriterium ist. Das Bestreben, vorhandene Ressourcen zu nutzen, ein Gefühl der Unabhängigkeit, ja auch Sympathie für eine Technologie spielen ebenso eine Rolle“, weiß Brüggemann. Die Preise für Solarmodule sind mit steigender Nachfrage schließlich drastisch gesunken. Marktanalysten gehen davon aus, dass mit der verstärkten Serienfertigung kompletter Module auch die Preise für ORC-Anlagen im kleinen Leistungsbereich um mindestens ein Drittel sinken könnten. (ha)

Wolfgang Rudolph

In einer der nächsten Ausgaben erläutert der Autor, wie Wissenschaftler an der Universität Bayreuth den Wirkungsgrad kleiner ORC-Anlagen durch spezielle



Prof. Brüggemann von der Universität Bayreuth, ist Präsidiumsmitglied im ORC-Fachverband

Foto: Universität Bayreuth

Wärmetauscher und Turbinen weiter verbessern. Außerdem werden wirtschaftlich erfolgreiche Projekte zur Abwärmeverstromung vorgestellt.

Strom aus Abwärme von unter 100°C

ENVA Systems GmbH hat einen ORC-Prozess entwickelt, der im Niedertemperaturbereich eingesetzt werden kann.

Das Herzstück des ORC-Moduls ist ein spezieller Wälzkolbenexpander, der schon bei sehr geringen Verdampfungsdrücken im Arbeitsmedium einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad erzielt. Bereits ab Temperaturen von über 80 °C erzeugt der ENVA ORC-Prozess elektrischen Strom. Eine weitere Besonderheit ist die Möglichkeit, es individuell an unterschiedliche thermische Leistungen anzupassen. Für den elektrotechnischen Teil (Steuerung und Stromerzeugung) werden die Komponenten des weltweit führenden Systemanbieters ABB eingesetzt. Unter ande-

rem die neue Generation der Asynchrongeneratoren mit der Effizienzklasse IE4 (International Efficiency Class 4). Das komplette ORC-System wird entweder als montiertes ORC-Modul zur Installation in einem Technikraum oder anschlussfertig in einem 20-Fuß-Container zur Außenaufstellung geliefert. Insbesondere die robuste Bauweise und der einfache Aufbau der Anlage machen sie wirtschaftlich hoch interessant.



Rentable Investition in Energieinfrastruktur

Für die Modernisierung von Biogas-BHKW bietet Dürr mit der Organic-Rankine-Cycle (ORC)-Technologie seit kurzem eine zukunftsweisende Lösung. Besonders attraktiv ist die Technologie bei BHKW, deren 30.000 Stunden KWK-Bonus ausgeschöpft ist. Denn mit der ORC-Nachrüstung kann der KWK-Bonus neu ausgelöst werden, bevor nach Erreichen der 30.000 h-Grenze übliche Einbau eines neuen Motors kann entfallen, wenn er technisch nicht notwendig ist. Stattdessen wird in die Ankopplung einer ORC-Anlage investiert.

Die Nachrüstung kann vollständig zur Erfüllung des 25 % oder 50 % Reinvestitions-Kriteriums angerechnet werden. Außerdem erhöht sie den elektrischen Wirkungsgrad signifikant und erlaubt es, abgeschriebene BHKW länger zu betreiben. Die Anbindung ist schnell und einfach, da ORC-Module vormontiert als Kompaktmodul geliefert und nur noch über Abgasleitungen mit dem BHKW verbunden werden. Das abgeschriebene BHKW kann unverändert weiter betrieben werden, der zeitaufwändige Motorentausch entfällt. Durch die Modernisierung

steigt die Effizienz und damit die Stromkennzahl der Gesamtanlage

um bis zu 20 %, der elektrische Gesamtwirkungsgrad erreicht Spitzenwerte von 50 %. Das Gesamtsystem arbeitet bei gleichbleibender Wärmenutzung effizienter, generiert zusätzliche KWK-Einnahmen und kann somit wirtschaftlicher betrieben werden. Die Kompatibilität mit einer Vielzahl von Abwärmequellen und das breite Temperaturspektrum machen ORC zu einer hochflexiblen Technologie.



Für passgenaue Lösungen liefert Dürr Cyplan KWK-fähige Kompaktmodule für Leistungsbereiche zwischen 40 und 500 kW_{el}. Für die Entwicklung kleiner Systeme erhielt Dürr Cyplan 2013 den Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg und den Nachhaltige Produktion Award auf der Hannover Messe. Alle Anlagentypen sind platzsparend auf einem Grundrahmen montiert und flexibel einsetzbar.

Steam Drive

Das SteamDrive-System ist eine kompakte und effiziente Anlage zur Nutzung der Abgasenergie von Blockheizkraftwerken. Sie ermöglicht Betreibern von Biogas-, Grubengas- und Deponiegasanlagen sowie prozesstechnischen Industrieanlagen, einen Teil der bisher ungenutzten Abwärme in elektrischen Strom zu wandeln. Dies führt zu einer deutlichen Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Anlage und trägt durch den Ersatz konventionell erzeugten Stroms zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen bei. Grundlage des SteamDrive ist der

CRC-Prozess (Clausius-Rankine-Cycle), der auf der Erzeugung überhitzten Wasserdampfes in einem Kreisprozess zur Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit bzw. elektrischen Strom basiert. Das Arbeitsmedium Wasser wird durch eine Pumpe unter Druck gesetzt und in einem in den Abgasstrang integrierten Wärmetauscher mittels der im Abgas enthaltenen Wärme verdampft und überhitzt. Anschließend wird er in einer Hubkolbenexpansionsmaschine entspannt. Diese treibt einen Generator zur Stromerzeugung

an. Das entspannte Arbeitsmedium wird im Kondensator verflüssigt und in einem geschlossenen Kreislauf wieder dem Arbeitsmediantank zugeführt. Die nach der Kondensation vorhandene Restwärme kann über eine Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Temperaturniveau von ca. 90 °C weiter genutzt werden. Die aktuelle Bauform des SteamDrive30 hat eine Nennleistung

von 30 kW_{el} und ist an Gasmotoren ab einer Leistung von 400 kW_{el} einsetzbar. Aktuell sind 15 Anlagen im Feld installiert. www.steamdrive.de



ePack von Orcan

Das ORC-Modul der Orcan Energy GmbH heißt ePack und ist speziell für die Abwärmenutzung in kleinen Leistungsbereichen konzipiert. Seit 2013 wurden 15 ePacks installiert, zumeist an Biogasanlagen mit BHKW verschiedener Hersteller. Bei den ePacks handelt es sich nicht um Einzelfertigungen, sondern um in Serie gefertigte Plug & Play-ORC-Module. Zum Lieferumfang gehören alle zum Betrieb benötigten Komponenten: das ORC-Modul, ein Direktkondensator sowie ein Abgaswärmeübertrager nach dem Baukastensystem. Orcan Energy macht mit seinem technologisch einzigartigen Konzept die Erschließung des Energiepotenzials kleiner Abwärmequellen erstmalig wirtschaftlich attraktiv. Die von Orcan patenteschützte ORC-Anlagentechnologie ermöglicht neben einer kompakten und platzsparenden Bauweise den Einsatz von

Standard-Industriekomponenten, wodurch auf teure Spezialanfertigungen verzichtet werden kann. Damit senkt Orcan auf der einen Seite die Investitionskosten signifikant und erreicht gleichzeitig eine sehr hohe technische Zuverlässigkeit. Die verbauten Komponenten bringen eine langjährige Betriebserfahrung aus der Industrie mit, so dass die bisher installierten Anlagen mit einer Verfügbarkeit von durchschnittlich 95 % laufen. Die Netto-Nennleistung des ePacks beträgt 20 kW_{el} (d. h. der Eigenverbrauch aller zum Betrieb notwendigen Komponenten ist bereits berücksichtigt). Hierfür benötigt er eine Abwärmemenge von ca. 300 kW_{th} bei einer Umgebungstemperatur von 10 °C. Bei niedrigeren Temperaturen generiert der ePack aufgrund des größeren Temperaturunterschiedes zwischen Vor- und Rücklauf entsprechend etwas mehr, bei höheren Temperatu-

ren entsprechend weniger, so dass in Deutschland (Durchschnittstemperatur 9,9 °C) im Jahresmittel die o. g. 20 kW_{el} erreicht werden. Der ePack von Orcan hat einen Nettowirkungsgrad von circa 7 % bezogen auf die 300kW_{th} Eingangsleistung. Auf den BHKW-Motor bezogen, bedeutet dies eine Steigerung des Wirkungsgrades um ca. drei Prozentpunkte. Je nach Stand der Technik des BHKW-Motors kann ein BHKW mit

nachgeschaltetem ePack einen elektrischen Gesamtwirkungsgrad von 42 bis 44 % erreichen. Je nach Vergütungssatz der Biogasanlage und der erzielten Jahresbetriebsdauer sind durch den ePack Zusatzeinnahmen von ca. 30.000 € allein aufgrund von Stromerlösen möglich. Abhängig von den jeweiligen Installationskosten sind Amortisationszeiten von unter vier Jahren zu erreichen. www.orcan-energy.com

