

Bewährungsprobe bestanden: Abwärmekraftwerke mit Kolbenmaschinen

Hocheffiziente Nutzung wertvoller Abwärme in der Stahlindustrie

In der Stahlindustrie entsteht in vielen Prozessen Abwärme, die bisher oft nicht effizient zurückgewonnen werden konnte oder gar ungenutzt an die Umwelt abgegeben werden musste. ORC-Abwärmekraftwerke von DeVeTec wandeln diese wertvolle Abwärme in elektrischen Strom um. Sie haben sich nach umfangreichen Feldversuchen auch in der Stahlindustrie bewährt und sind jetzt als Serienprodukte verfügbar. Sie erzeugen nicht nur elektrischen Strom, sondern liefern darüber hinaus auch Nutzwärme im Sinne des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG).

Michael Schmidt

Überschüssige Prozesswärme entsteht bei der Herstellung von Stahl in vielen Bereichen, zum Beispiel in der Flüssigphase, beim Gießen und Walzen ebenso wie bei der Wärmebehandlung. Mit zwei Abwärmekraftwerken hat DeVeTec bewiesen, dass auch in der Stahlindustrie große Energiemengen nutzbringend rückgewonnen werden können.

Bei der Bilstein GmbH & Co. KG in Hagen-Hohenlimburg ist eine Anlage von DeVeTec seit 2014 Bestandteil eines umfassenden Energieeffizienzprogramms: Hier wird die Glüherei nicht isoliert betrachtet, sondern das gesamte Werk wird einbezogen. Der grundlegend neue Ansatz ist, die beim Kühlen der bis zu 700 °C heißen Coils überschüssige Energie auszukoppeln und sie in Form von elektrischem Strom und thermischer Energie anderen Verbrauchern im Werk zur Verfügung zu stellen.

Wenn der Kühlprozess startet, wird der als Inertgas verwendete Wasserstoff von 700 bis auf 350 °C abgekühlt. Die dabei entzogene Energie erwärmt in einem speziellen Bypasskühler Thermalöl auf eine Temperatur von bis zu 270 °C. Dieses Öl wird genutzt, um das Ethanol zu verdampfen, mit dem das ORC-Modul mit seinem

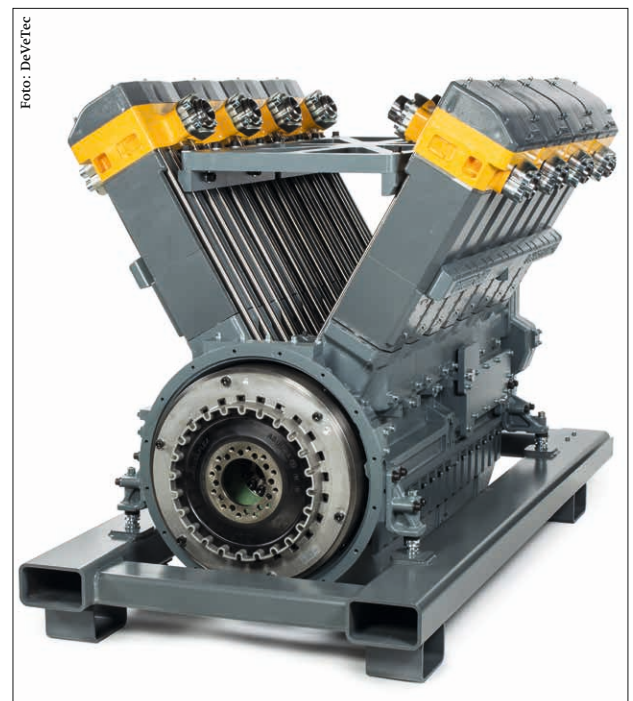
Dampfexpansionsmotor elektrischen Strom erzeugt. Die bei der Kondensation des Ethanols anfallende Wärme wird für die Hallenheizung und zum Erwärmen eines Emulsionsbades genutzt. Pro Heizzyklus der Glühe erzeugt die ORC-Anlage etwa 350 kWh_{el} elektrischen Strom, der nicht mehr vom Energieversorger zugekauft werden muss. Die Anlage wurde durch das Bundesumweltministerium im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms (www.umweltinnovationsprogramm.de) gefördert.

Auf dem Gelände der Badischen Stahlwerke in Kehl ist seit Anfang 2014 ein Abwärmekraftwerk von DeVeTec in Betrieb, das die Abwärme eines mit Erdgas befeuerten Stoßofens nutzt, um daraus elektrischen Strom zu erzeugen. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wurde die Anlage in einer Höhe von 8 m und in einer Entfernung von 80 m zum ORC-Wärmeüberträger aufgestellt.

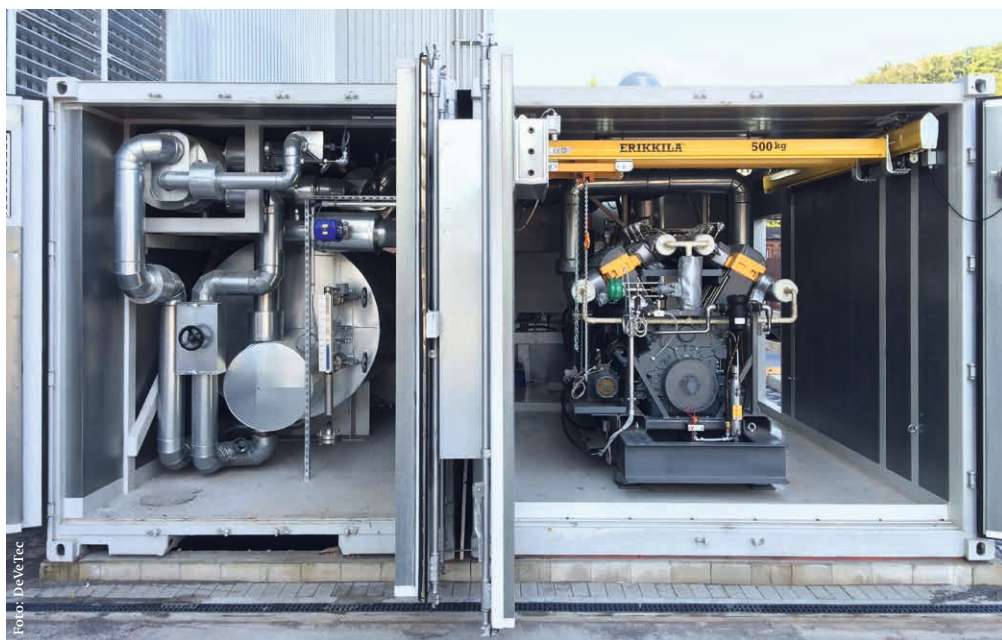
Hierzu gibt es Überlegungen, die Abwärme des ORC-Prozesses in Zukunft zum Betrieb einer Absorptionskältemaschine zu verwenden. Durch den Einbau eines Saugzuggebläses in der Rauchgasstrecke des ORC-Wärmetauschers konnte der Einfluss des Abwärmekraftwerkes auf die bestehende Druckregelung des Stoßofens ausgeschlossen werden.

Effizient auch bei Teillast

DeVeTec hat nach umfangreicher Grundlagenforschung ein Abwärmekraftwerk entwickelt, das auf dem Grundprinzip des Kolbenmotors basiert. Es kann sehr schnell auf wechselnde Abwärmebedingungen reagieren und so einen außergewöhnlich hohen Anteil der wertvollen Abwärme verwerten. Hinzu kommt, dass gerade die Kolbenexpansionsmaschine sehr



Das Herzstück der DeVeTec-Abwärmekraftwerke: der ORC-Dampfexpansionsmotor



Ein DeVeTec-Abwärmekraftwerk nutzt die Abwärme der neuen Haubenglüherei bei Bilstein in Hagen

effizient arbeitet, da sie bauartbedingt sehr hohe Differenzdrücke realisieren kann. Dies führt dazu, dass man hohe Temperaturspreizungen von mehr als 150 °C und daraus resultierend auch eine große Enthalpiespreizung realisieren kann, was zu einer hohen Energieausbeute führt.

Somit erzeugen Abwärmekraftwerke von DeVeTec auch bei Teillastbetrieb hocheffizient elek-

trischen Strom. Darüber hinaus stellen sie Wärme auf einem Temperaturniveau von etwa 80 °C anderen Abnehmern zur Verfügung. So kann ein Gesamtnutzungsgrad von mehr als 90 % erzielt werden. Die rückgewonnene Energie kann zum Beispiel genutzt werden, um Anlagen zu heizen, Materialien zu trocknen oder Prozesse zu temperieren. Die Abwärmekraftwerke eignen sich für alle Prozesse, bei

denen Temperaturen von mehr als 230 °C entstehen. Neuerdings stehen auch Fluide zur Verfügung, die bereits ab 170 °C eine beachtliche Effizienz erzielen.

Eine überzeugende energetische Gesamtbilanz bei hohem ökologischem Nutzen

Auch die wirtschaftliche Bilanz kann sich sehen lassen: Die Abwärmekraftwerke von DeVeTec reduzieren die Kosten für den Kauf fremdbezogener Brennstoffe und elektrischer Energie. Hinzu kommt, dass eigenproduzierter Strom zum Teil oder sogar ganz frei von EEG-Umlagen oder sonstigen Abgaben ist. Zusätzliche Einnahmen erzielen die Betreiber durch den KWK-Bonus, denn die Abwärmekraftwerke von DeVeTec sind Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen entsprechend dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWK-G). Da sie automatisch arbeiten und keine Überwachung vor Ort erfordern, entstehen auch keine Kosten für Personal.

Industrieanwender bestätigen, dass die Anlagen sich bei gleichzeitiger Stromerzeugung und Wärmenutzung innerhalb von weniger als vier bis fünf Jahren, je nach Konstellation auch in weniger als drei Jahren amortisieren.

ORC-Technologie – aus bisher ungenutzter Abwärme wird Strom

Die Maschinen von DeVeTec nutzen das als Organic Rankine Cycle (ORC) bekannte Verfahren, das nach dem schottischen Physiker und Ingenieur William Rankine (1820 – 1872) benannt ist. Er gilt als einer der Mitbegründer der Thermodynamik.

Das Verfahren des DeVeTec-ORCs ist ein klassischer Dampfkreisprozess: Der Abwärmestrom eines Prozesses wird genutzt, um ein organisches Medium – in diesem Fall Bioethanol – zu verdampfen, das anschließend in einem Dampfexpansionsmotor

Das Prinzip

Abwärmekraftwerke von DeVeTec arbeiten nach dem gleichen Grundprinzip wie Großkraftwerke: Sie verdampfen eine Flüssigkeit, die anschließend in einer von DeVeTec entwickelten Kolbenexpansionsmaschine (Wärmekraftmaschine) entspannt wird und so Energie erzeugt. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass anstelle von Wasser ein organisches Fluid (Bioethanol) verwendet wird, das bereits bei niedrigen Temperaturen ein effizientes thermodynamisches Verhalten aufzeigt. So lassen sich Abwärmeströme ab einer Temperatur von 230 °C effizient und wirtschaftlich nutzen. Bei Großkraftwerken richtet sich jedoch der ganze Prozess ausschließlich nach der dort installierten Wärmekraftmaschine – es wird genau so viel Wärme erzeugt, wie es die Wärmekraftmaschine, in der Regel eine Turbine, benötigt, um eine optimale Effizienz zu erreichen. Abweichungen von den optimalen Betriebspunkten führen zu signifikanten Reduktionen des Wirkungsgrades. Betrachtet man jedoch industrielle Abwärme, so kehrt sich dieser Prozess um. Hier muss sich die Wärmekraftmaschine nach der anfallenden Wärme, zum Beispiel aus dem Produktionsprozess, richten. Somit wird klar, dass dadurch ganz andere Anforderungen an die Arbeitsmaschinen gestellt werden. Genau hierfür wurde die Kolbenexpansionsmaschine entwickelt.

entspannt wird und seine Arbeit verrichtet. Der nunmehr drucklose Dampf wird dann in einen Kondensator geleitet und dort verflüssigt. Danach wird das flüssige Ethanol mit einer Pumpe wieder dem Verdampfer zugeführt und erneut verdampft. Somit ist der Prozess geschlossen und der Kreislauf startet von vorne.

Das von DeVeTec verwendete organische Fluid ist in der Regel Bioethanol, das sich aufgrund vieler Vorteile bewährt hat. Es ist umweltverträglich, denn es ist weder toxisch noch fällt es unter die von der EU herausgegebene F-Gas-Verordnung. Außerdem gefriert es nicht – gerade bei im Freien stehenden Anlagen ist dies von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus zeichnet sich Bioethanol durch einen günstigen Preis aus.

Von Beginn der Entwicklung an hat DeVeTec die Anlagen in Kooperation mit dem TÜV so konzipiert, dass keinerlei Gefährdungspotenzial besteht, gerade auch im Hinblick auf das Thema Brand- und Explosionsschutz.

Mit dem an Ort und Stelle erzeugten Strom reduzieren die Betreiber den Einkauf von Strom von Drittanbietern. Dabei sparen sie auch Umlagen wie Netzentgelte oder Haftungs- und EEG-Umlagen. In Verbindung mit einem Verbrennungsmotor entsteht ein sogenanntes GuD-Kraftwerk, das sich durch hohe Wirkungsgrade auszeichnet.

Einzigartig: der ORC-Dampfexpansionsmotor

Das Herzstück jedes Abwärmekraftwerkes von DeVeTec ist der Expander. Ergebnis diverser Grundlagenuntersuchungen im Rahmen der FuE-Aktivitäten war, dass die Kolbenmaschine das System mit der höchsten Effizienz ist.

Kolbenexpansionsmotoren erzielen in einer Stufe eine sehr hohe Druckdifferenz, womit das Enthalpiegefälle deutlich steigt und somit viel mehr Strom erzeugt werden kann, als dies mit verwandten Technologien möglich ist. Ein

weiterer erheblicher Vorteil des Kolbenexpansionsmotors ist seine echte Teillastfähigkeit. In Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Abwärmemenge arbeitet der V8-Motor in einer Spanne von 0 bis 130 kW, der V12-Motor von 0 bis 200 kW oder der V16-Motor von 0 bis 266 kW mit annähernd konstantem Wirkungsgrad. Sollten andere Wärmequellen mit tieferen Temperaturen erschlossen werden, ließe sich der gleiche Motor auch mit anderen organischen Fluiden betreiben, ohne dass er hierzu verändert werden müsste.

Nach einer intensiven Entwicklungs- und Erprobungszeit mit industriellen Anwendungspartnern von über fünf Jahren stehen die DeVeTec-Abwärmekraftwerke jetzt in einer Produktfamilie mit drei Leistungsklassen zur Verfügung. Damit können ungenutzte Abwärmeströme zwischen 800 kW und 2 MW auf einem Temperaturniveau von mehr als 230 °C hocheffizient verstromt werden. Die Abwärmekraftwerke können genau auf die Anforderungen der Kunden angepasst werden.

DeVeTec liefert die Abwärmekraftwerke als mobile Container-einheiten mit der Expandergeneratoreinheit, der Pumpeneinheit und der Steuerungseinheit. Auf diese Weise ist es möglich, sie einfach in bestehenden Werken nachzurüsten. Auf Wunsch rea-

lisiert DeVeTec auch die gesamte Wärmeübertragungstechnik. Werden höhere Leistungen benötigt, können mehrere Anlagen parallel geschaltet werden.

Die Anlagen arbeiten vollautomatisch und werden fernüberwacht. Der eigens dafür entwickelte „Noise and Vibration Guard“ überwacht Verschleißerscheinungen, schützt den Motor vor potentiellen Schäden und minimiert im Rahmen der vorbeugenden Wartung das Risiko von Störungen.

Fazit

Die Abwärmekraftwerke von DeVeTec gewinnen ein Maximum an Energie aus industriellen Prozessen zurück, indem sie gleichzeitig elektrischen Strom erzeugen und die danach noch vorhandene Energie auf unterschiedlichen Temperaturniveaus nutzen. So leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz. Außerdem sind sie ein Musterbeispiel für CO₂-neutrale und emissionsfreie Stromerzeugung, denn ein Abwärmekraftwerk der DeVeTec kann bei einer Nennleistung von 200 kW_{el} bis zu 3 000 t CO₂/a einsparen.

*info@devetec.de
Michael Schmidt,
geschäftsführender Gesellschafter,
DeVeTec GmbH, Saarbrücken.*

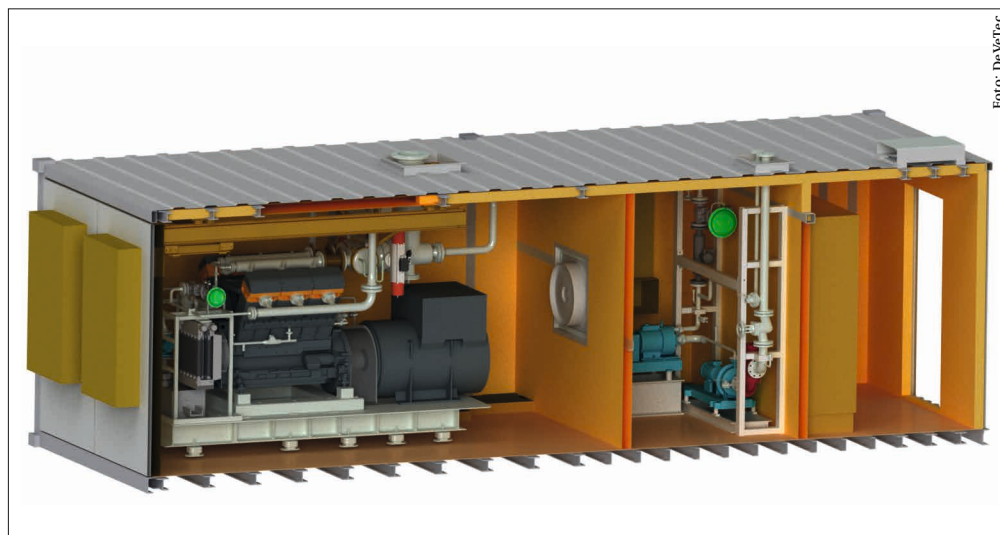


Foto: DeVeTec

Das DeVeTec-Abwärmekraftwerk ist so kompakt, dass es in einem Container Platz findet