

Positives Fazit nach zehn Jahren Betriebserfahrung

Blockheizkraftwerk nutzt Hochtemperatur-Brennwerttechnik

ABWÄRMENUTZUNG | Im Oktober 2004 wurde an der Deutschen Sporthochschule in Köln Technikgeschichte geschrieben. Als eine der weltweit ersten kommerziellen Anwendungen eines offenen Absorptionsprozesses zur Abwärmerückgewinnung wurden zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) mit einer Gesamtleistung von 1 940 kW mit einer Hochtemperatur-Brennwerttechnik kombiniert. Dadurch konnte die Effizienz der BHKW-Anlage, die die Sporthochschule mit Wärme und Strom versorgt, um durchschnittlich sieben Prozent gesteigert werden. Nach über zehn Betriebsjahren lässt sich nun ein positives Fazit ziehen.

Brennwertnutzung ist im Bereich der industriellen Energietechnik kaum gebräuchlich. Das liegt vor allem darin begründet, dass herkömmliche Systeme aufgrund des niedrigen Wasserdampf-Taupunktes im Abgas spezielle Niedertemperaturheizsysteme mit niedriger Rücklauf-Temperatur benötigen. Mit der Hochtemperatur-Brennwerttechnik (HTBWT)



Die Hochtemperatur-Brennwerttechnik-Module an der Deutschen Sporthochschule in Köln.

Autoren

Dipl.-Ing. **Gerald Wartig**, Leiter der Betriebstechnik an der Deutschen Sporthochschule (DSHS) in Köln. Seine Aufgaben beinhalten neben der Betriebsführung, die elektrotechnische, heizungstechnische, kältetechnische, und sanitärtechnische Ver- und Entsorgung des Campus der DSHS Köln.

i wartig@dshs-koeln.de

Dr.-Ing. **Thomas Bergmann**, Dozent für thermische Speichersysteme an der School of Engineering der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Winterthur. Die Entwicklung offener Sorptionskreisläufe zur Abwärmenutzung verfolgte er bereits in den 1990er Jahren. Später entwickelte er aus den Laborversuchen industrietaugliche Anlagen und realisiert als Geschäftsführer der BHF Verfahrenstechnik GmbH die erste großtechnischen Anwendungen der neuartigen Technologie wie zum Beispiel auch die beschriebene Anlage an der Deutschen Sporthochschule.

i thomas.bergmann@zhaw.ch

Dipl.-Ing. **Serena Danesi**, wissenschaftliche Mitarbeiterin an der School of Engineering der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Winterthur.

i serena.danesi@zhaw.ch

kann eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung der Kondensationswärme des Rauchgases auch in Verbindung mit Nah- und Fernwärmenetzen sowie in der industriellen Wärmeversorgung – zum Beispiel in Kombination mit Blockheizkraftwerken, wie an der Deutschen Sporthochschule (DSHS) in Köln, mit Heizkreistemperaturen von 70/90 °C – realisiert werden.

Das Funktionsprinzip der Hochtemperatur-Brennwerttechnik

Anhand des Anlagenschemas (**Bild 1**) kann die Funktionsweise des HTBWT-Prozesses einfach nachvollzogen werden. Eine Hauptkomponente der HTBWT-Module bildet der Abgaswäscher (A: Absorber), in dem die BHKW-Abgase entfeuchtet und gleichzeitig bis nahezu auf Heizkreislauftemperatur abgekühlt werden. Für die Wäsche wird eine hygroskopische Salzlösung (Calciumnitratlösung)

verwendet, so dass das Rauchgas den Wäscher mit einer sehr geringen Restfeuchte (rund 15 % relative Feuchte) verlässt. Dies hat zwei Vorteile. Zum einen kann dem Abgas dadurch ein Großteil der Kondensationswärme zusätzlich zur fühlbaren Wärme entzogen werden, und andererseits ist – im Gegensatz zur herkömmlichen Brennwerttechnik – der Kondensat-anfall im Abgassystem sowie die Schwadenbildung am Kaminaustritt äußerst gering.

Die Regeneration der Salzlösung erfolgt in einem Austreiber (D: Desorber) mit nachgeschaltetem Phasentrenner (PT). Die hierfür auf einem Temperaturniveau von etwa 140 °C benötigte Wärme wird vom BHKW-Abgas, das den Motor mit etwa 500 °C verlässt, bezogen (RWT: Rauchgaswärmeaustauscher) und dem Austreiber über einen Wärmeträgerölkreislauf zugeführt. Die Austreibertemperatur ist im Prozess die einzige Regelgröße und be-

stimmt die Konzentration der Salzlösung, wodurch der Arbeitspunkt der Anlage festgelegt wird. Die Regelung erfolgt über eine Bypassschaltung des Wärmeträgerkreislaufer.

In einem Kühler (LWT: Lösungswärmetauscher), der die Salzlösung vor Eintritt in den Wäscher auf nahezu Heizkreislauftemperatur abkühlt, sowie im Kondensator (K), der den im Phasentrenner (PT) abgeschiedenen Wasserdampf kondensiert, erfolgt die Auskopplung der Nutzwärme. Das mit der Rauchgasentfeuchtung anfallende Kondensat besitzt durch den Destillationsschritt eine gute Reinheit und kann als Brauchwasser genutzt werden.

Die HTBWT-Anlage an der Deutschen Sporthochschule

Für die Wärme- und Stromversorgung der Gebäude und Anlagen der DSHS arbeiten zwei BHKW-Module der Firma MDE (E 3042 LH 1) im Grundlastbetrieb. Die MAN-Motoren werden mit Erdgas betrieben und haben eine Feuerleistung von je 970 kW. Bei Volllast geben die BHKW je eine elektrische Nutzleistung von 357 kW und eine thermische Leistung von 529 kW ab.

Jedem BHKW wurde ein HTBWT-Modul nachgeschaltet. Dabei ist die HTBWT durch den Abgaswäscher in den Abgasweg nach dem BHKW eingebunden. Eine Bypassschaltung sorgt für einen unabhängigen Betrieb, das heißt, das BHKW kann auch ohne HTBWT betrieben werden.

Als Arbeitsmittel für den Sorptionsprozess der HTBWT wird eine wässrige Calciumnitratlösung mit einem Salzgehalt von etwa 5 % verwendet. Calciumnitrat war bis dato nicht gebräuchlich in Absorptionsanlagen und wurde erstmals mit der Hochtemperatur-Brennwerttechnologie als Absorbens eingesetzt. Calciumnitrat wird in großen Mengen in Düngemitteln verarbeitet und Abwassersystemen zur Geruchsabmilderung und als Korrosionshemmer zugesetzt. Die Salzlösung ist in großen Mengen zu einem geringen Preis verfügbar und hat keine negativen Umweltauswirkungen. Nachteilig ist die Kristallisationstemperatur der 75%-igen Lösung von etwa 50 °C. Dies verlangt während des Anlagenstillstandes eine Warmhaltungsfunktion, die über den Heizkreislauftemperatur automatisch erfolgt. Bei längeren Betriebspausen wird die Lösung auf eine Konzentration von etwa 50 % mit Wasser

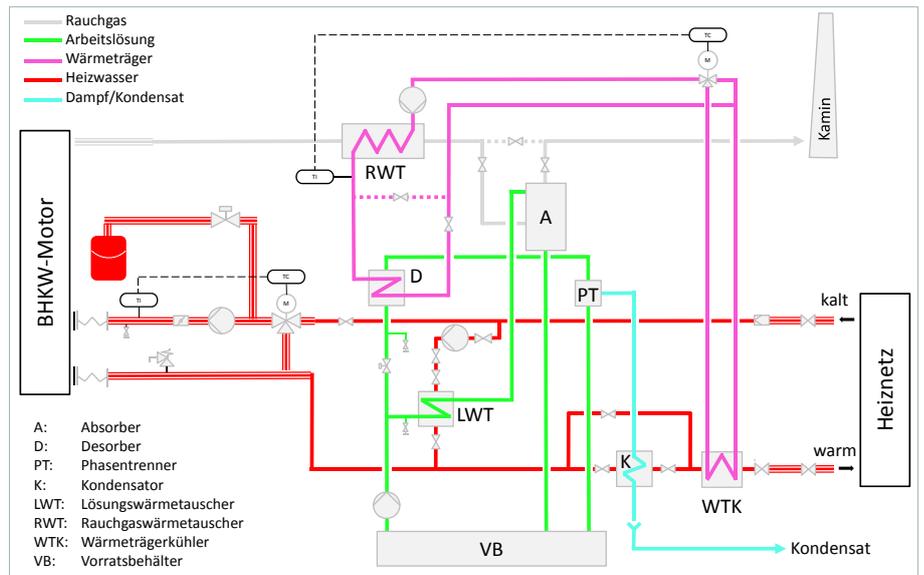


Bild 1 Anlagenschema der Hochtemperatur-Brennwerttechnik.

verdünnt, wodurch sich der Kristallisationspunkt auf etwa 0 °C verschiebt.

Die Effizienz der Abwärmenutzung durch die HTBWT ist abhängig von der Heizkreistemperatur, die in Abhängigkeit von der Außentemperatur Schwankungen aufweist. Mit den HTBWT-Anlagen an der DSHS wird aus den Abgasen der BHKW-Module eine zusätzliche Nutzwärmeleistung von 115 bis 155 kW gewonnen. Damit verbessert sich der Gesamtwirkungsgrad der BHKW-Anlage von 91 % auf 97 bis 99 %.

Die Effizienz der Anlage kann anhand der jährlich gegenüber der Zollverwaltung abgerechneten Erzeugung von Wärme und Strom sowie des Brennstoffverbrauches ermittelt werden. Demnach

werden an der Deutschen Sporthochschule im Jahr über 800 MWh Heizwärme durch den Einsatz der Hochtemperatur-Brennwerttechnik gewonnen und damit die Kohlendioxidproduktion um rund 175 t reduziert. Abgastemperaturen von 65 bis 67 °C beweisen täglich die hohe Effizienz der Anlage.

Der Bau der HTBWT-Module (siehe Aufmacherfoto) dauerte etwa drei Monate und erfolgte parallel zum Aufbau der BHKW-Module durch einen Rohrleitungsbetrieb. Die Inbetriebnahme ließ sich innerhalb von drei Wochen realisieren. Seit Anfang Oktober 2004 befindet sich die Anlage störungsfrei im automatischen Betrieb (Bild 2).

Bild 2 Betriebsüberwachung am Control Panel.

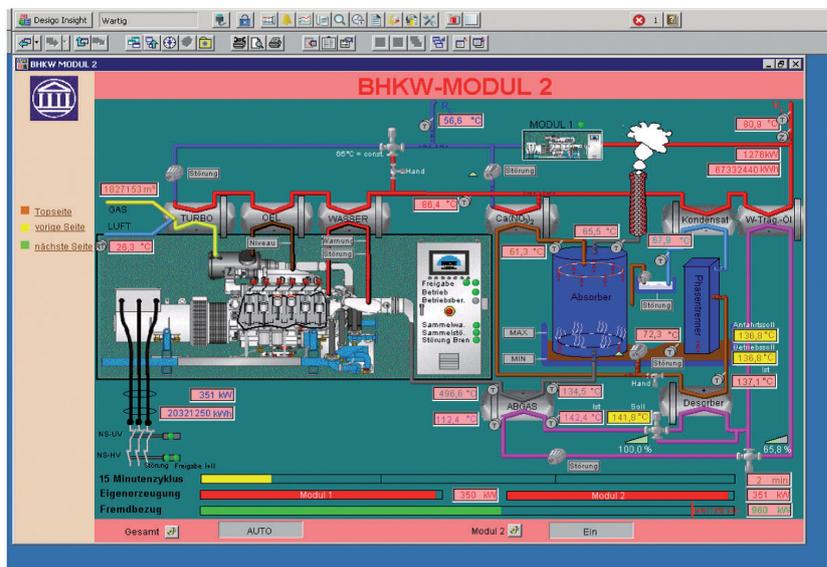




Bild 3 Calciumnitrat-Kristalle im Wäschersumpf.

Betriebserfahrungen des Anlagenbetreibers

Nach anfänglichen Berührungängsten der Handwerker ist der Umgang mit der HTBWT-Anlage schnell zur Routine geworden. Die tägliche Kontrolle der Anlage sowie die Dichtemessung an der Calciumnitratlösung (Konzentrationsbestimmung) waren jeweils in zwei Minuten erledigt. Die Routine führte allerdings auch zu einem einmaligen Zwischenfall: Aufgrund einer 16-stündigen beaufsichtigungsfreien Betriebsdauer des Heizwerkes blieb eine mehrstündige Störung der Wärmeversorgung zu lange unbemerkt. Dies führte zu einer unzulässigen Abkühlung der Anlage. Die Folge war eine Kristallisation der Calciumnitratlösung (**Bild 3**). Mit viel Fleiß und heißem Wasser konnte die Lösung wieder verflüssigt werden. Die Anlage hat dabei keinen Schaden genommen.

Spätestens nach drei Betriebsjahren mit jeweils mehr als 6 000 Betriebsstunden wird die Arbeitslösung ersetzt und alle Wärmeaustauscher gereinigt. Dies ist notwendig, da sich auf den Wärmeaustauscheroberflächen Gips (Calciumsulfat) abgelagert (**Bild 4**).

Nach zehnjähriger Betriebszeit kann der HTBWT ein sehr robustes und störungsanfälliges Betriebsverhalten bescheinigt werden. Dies ist vor allem auf den unkomplizierten Aufbau der Anlage und die im Allgemeinen „gutmütige“ Trägheit von Sorptionsprozessen zurückzuführen. Wenige mechanisch aktive Bauteile, wie die mit konstanter Leistung betriebene Kreiselpumpe für den Lösungsumlauf und das Motorstellventil für die Regelung der Aus-

treibertemperatur, garantieren eine hohe Verfügbarkeit der Anlage. Lediglich die, bedingt durch die Abgaswäsche, entstehenden Ablagerungen an den Anlagenkomponenten verlangen eine regelmäßige Reinigung der Anlage und einen periodischen Austausch der Arbeitslösung. Nach zehn Betriebsjahren ist eine generelle Reinigung der Gesamtanlage (Wäscher, Wärmeaustauscher, Pumpen und Rohrleitungen) einschließlich Ersatz der Keramikfüllkörper im Wäscher notwendig.

Kritikpunkte seitens des Betriebspersonals gibt es in Bezug auf die bisher nur über den Heizkreis gesicherte Stillstands-Warmhaltung der Arbeitslösung. Hier wird empfohlen, für eine redundante Absicherung zusätzlich eine Elektroheizung vorzusehen. Weiterhin wurde beobachtet, dass die Gipsablagerungen an den Wärmeaustauscherflächen des Austreibers gelegentlich abplatzen. Dies behindert den Lösungsfluss in den Rohrleitungen. Unkontrollierte Volumenstromänderungen im Lösungskreislauf können (zum Beispiel durch Anlagenabschaltung aufgrund erhöhter Austreibertemperatur) zu Betriebsstörungen führen. Deshalb wäre es von Vorteil, wenn im Lösungsumlauf ein austauschbarer Filtereinsatz vor dem Austreiber platziert würde.

Weitere Einsatzgebiete der Hochtemperatur-Brennwerttechnik

Neben den Einsatzmöglichkeiten an Kessel- oder BHKW-Anlagen bietet sich eine Verwendung der HTBWT auch in anderen industriellen Bereichen an, bei-



Bild 4 Ablagerungen im Wärmeaustauscher.

spielsweise zur Brüdenabwärmenutzung bei Trocknungs- und Waschprozessen.

Oft erweisen sich herkömmliche Wärmerückgewinnungsverfahren wegen prozessbedingter Verunreinigungen durch Stäube und Tröpfchen als ineffektiv. Die bei der HTBWT mit der Wärmerückgewinnung verbundene Gaswäsche ist gegen Verschmutzungen weniger anfällig und führt in vielen Fällen zu einem zusätzlichen Reinigungseffekt, der die Abgasbrüden von Staub, Geruchs- und Schadstoffen befreit.

Ein willkommener „Nebeneffekt“ beim Einsatz der Hochtemperatur-Brennwerttechnologie ist die Trocknung der Abgase, wodurch Schäden durch Kondensatbildung im Abgassystem sowie Schwadenbildung am Kaminaustritt vermieden werden kann.

Auch die mit dem Einsatz der HTBWT verbundene Gewinnung von gereinigtem Kondensat aus den Abgasen kann für manche Prozesse wie zum Beispiel Brennstoffzellen und Gasturbinen mit Dampfinjektion (Cheng-Cycle/STIG-Prozess) den Ausschlag für ein effizientes Konzept liefern. Das Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering der ZHAW School of Engineering arbeitet weiterhin an anwendungsorientierten Lösungen zur Effizienzsteigerung technischer Prozesse. Aktuell besonders interessant ist der Einsatz von Sorptionsprozessen in Verbindung mit saisonalen Energiespeichern und thermochemischen Energieversorgungsnetzen als Alternative zu konventionellen Fernwärmenetzen.