

Abwärmennutzungsanlagen von Erdgasverdichterstationen zur Stromerzeugung als zukunftsweisende Technik

Technology for the future: Systems for recovery of waste heat from natural gas compressor stations for use in power generation

Von Gerald Kulhanek und Miroslav Kovacic

Nach heutigem Standard werden Gastransportverdichterstationen mehrheitlich mit Gasturbinen angetrieben. Dabei wird jedoch das heiße Abgas energetisch ungenutzt an die Atmosphäre abgegeben. In diesem Artikel wird ein Konzept vorgestellt mit dem es möglich ist diese Gasverdichterstationen mit einer Abwärmennutzungsanlage (AWN) zu erweitern, ohne dabei die Gasverdichterstation bei Störungen in der AWN in ihrem Betrieb einzuschränken. Darüberhinaus werden die verfahrenstechnisch getrennten Anlagen beschrieben. Mit diesen Abwärmennutzungsanlagen wird ein wesentlicher Betrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen geleistet.

The majority of gas-pipeline compressor stations are operated by means of gas-turbines. The turbine's hot exhaust gas is released into the atmosphere without exploitation of its high energy content, however. This article examines a concept which makes it possible to add to such compressor stations a waste-heat recovery system without affecting compressor-station operation in case of problems in the waste-heat system. These separately operating systems are also examined. Such waste-heat recovery arrangements make a significant contribution to reducing CO₂ emissions.

Einleitung

Europa wird von weit entlegenen Erdgasfeldern in Russland, Nordsee, Nordafrika über bestehende On- und Offshore-Pipelines und bald auch durch neue Pipeline-Projekte (Nabucco, South Stream, North Stream, usw.) über mehrere tausend Kilometer lange Erdgasleitungssysteme versorgt. Der für den Durchsatz notwendige Druck und mit dem Transport einhergehende Druckverlust in den weitläufigen Erdgasleitungen muss durch Gasverdichterstationen (GVS) aufgebracht bzw. auf der Strecke kompensiert werden. Diese Druckerhöhung erfolgt mit Verdichtern, die nach dem Stand der Technik mittels Gasturbinen bzw. Elektromotoren angetrieben werden.

Die Verpflichtung der EU die CO₂-Emissionen (Kyoto-Ziele) drastisch zu verringern, sowie

das Streben nach möglichst hoher Brennstoffausnutzung, führen zu neuen Anlagenkonzepten und deren Realisierung. Die OMV hat sich dieser Aufgabenstellung gestellt und setzt ein innovatives Pilotprojekt mit dem Bau der Abwärmennutzungsanlage (AWN) bei der Erdgasverdichterstation Weitendorf (Ö) um.

Mit dieser AWN wird der Wärmehalt der heißen Abgase der Gasturbinen energetisch genutzt, wodurch der Brennstoffausnutzungsgrad wesentlich erhöht wird. In eingehenden Studien wurde ein Dampfkreislauf (Rankine-Prozess) mit Abhitzeessel (AHK), Dampfturbine (DT) und Kondensator (KOND) als optimierte Lösung ermittelt. Dieses Konzept greift auf bewährte Komponenten der Kraftwerkstechnik zurück, wobei der Vorteil der Standardisierung dieser Komponenten genutzt werden kann.

Neben der Stromproduktion in AWN-Anlagen kann noch eine gleichzeitige Nah-/Fernwärmeauskopplung in Betracht gezogen werden. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass GVS meist weitab von Wärmeabnehmern (Industrie, Wohngebieten, usw.) konzipiert und betrieben werden und daher die Auskopplung von Nah-/Fernwärme durch fehlende Wärmeabnehmer erschwert bzw. aus wirtschaftlichen Gründen nicht realisiert werden kann.

Derzeitige Standardausführung von Erdgasverdichterstationen

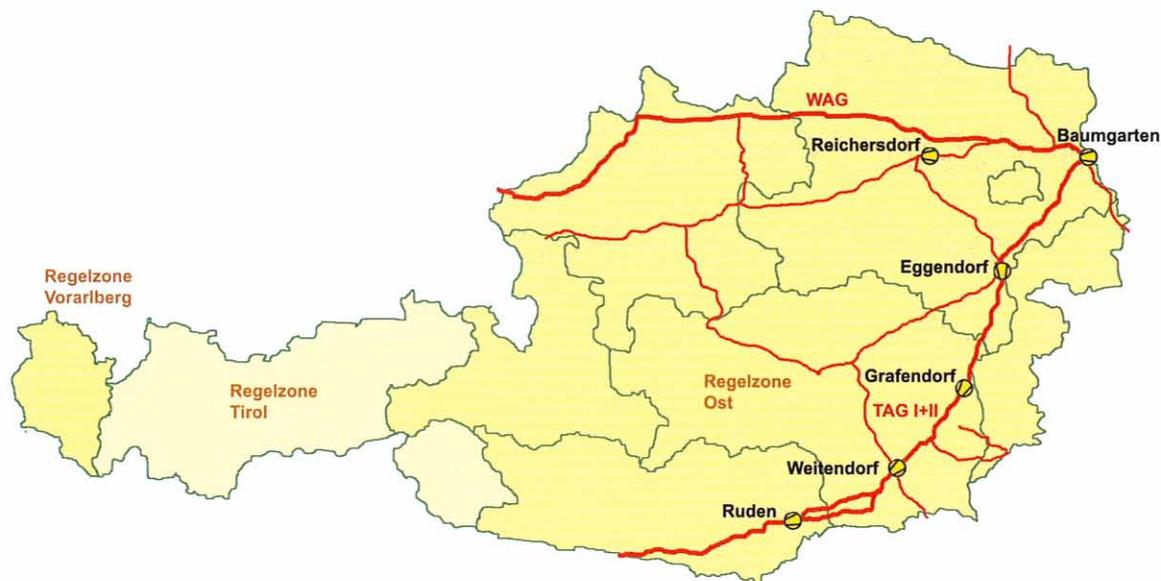
Beim Betrieb einer GVS steht das Verdichten des Erdgases im Vordergrund. Das Hauptinteresse liegt daher darin, den ohnehin komplexen Aufbau (Filterung, Verdichtung, Kühlung, usw.) der GVS möglichst einfach und überschaubar zu halten und damit an die Bedürfnisse des Erdgastransports möglichst optimal angepasst zu sein.

Der Pipelinebetreiber hat eine hohe Verfügbarkeit der GVS zu garantieren, da Gaslieferausfälle zu hohen Folgekosten führen können. Aus diesem Gesichtspunkt sind die derzeitigen Standardausführungen von GVS, die ohne AWN-Anlagen ausgeführt werden, zu verstehen. Dass durch die Erweiterung um eine AWN-Anlage der Betrieb der GVS nicht eingeschränkt bzw. behindert wird und gleichzeitig ein Beitrag zur effizienteren Nutzung der Primärenergie erzielt wird, kann am Beispiel der AWN-Anlage Weitendorf in diesem Artikel gezeigt werden.

Im Folgenden werden übliche Ausführungen von GVS kurz beschrieben.

Bild 1: Erdgasfernleitungen/Verdichterstationen in Österreich

Fig. 1: Long-distance gas transmission lines and compressor stations in Austria



Verdichterantrieb mit Gasturbinen im Offenen Gasturbinenprozess (Open-Cycle)

Dabei wird der Verdichter von einer vom Flugzeugtriebwerk abgeleiteten (engl. Aero-derivative) Gasturbine angetrieben. Wegen unterschiedlicher erforderlicher Gastransportvolumina muss der Erdgasverdichter und damit der zugehörige Antrieb einen großen Drehzahlbereich abdecken können. Aufgrund der Zweiwellenbauweise (Kerntriebwerk und Nutzturbine) der Aeroderivativen Gasturbinen kann diese Anforderung erfüllt werden. Weiterhin sind die kompakte Bauweise und kurze Wartungszeiten zu nennen.

Die heißen Gasturbinenabgase, die je Modell [1] unterschiedlich hoch (450 - 570 °C) sein können, werden dabei energetisch ungenutzt über den Kamin abgeführt.

Verdichterantrieb mit Elektromotor

Dabei wird der Verdichter durch einen Elektromotor angetrieben. Für die Drehzahlanpassung kann grundsätzlich ein Frequenzumrichter oder ein Drehmomentwandler verwendet werden. Für niedrige Leistungen werden vorwiegend Frequenzumrichter eingesetzt werden. Für höhere Leistungen stehen nur mehr Drehmomentwandler zur Verfügung.

Mögliche Abwärmenutzungskonzepte

Die Erhöhung des Wirkungsgrads bzw. der Brennstoffausnutzung beim Einsatz von Gasturbinen für GVS kann durch eine AWN-Anlage erreicht werden, in der die heißen Gasturbinenabgase in einem nachgeschalteten Prozess weiter energetisch genutzt wird. Erste GVS mit AWN sind in den letzten Jahren in Angriff genommen worden [2, 3, 4], eine derzeit

im Bau befindliche AWN-Anlage in Weitendorf wird in dieser Arbeit detaillierter beschrieben. Zu beachten sind die unterschiedlichen Randbedingungen und Zielsetzungen, so muss unterschieden werden zwischen Neubau einer Gesamtanlage (GVS + AWN) oder Erweiterung einer bestehenden GVS. Einen wesentlichen Faktor stellt die Zulässigkeit von wechselseitigen Beeinflussungen der beiden Anlagen dar. Je höher die Ziele bezüglich des Wirkungsgrads gesetzt werden, desto höher wird auch die Komplexität der AWN. Damit verbunden sind höhere Baukosten und hoher Entwicklungsaufwand für nicht standardisierte Komponenten.

In der Folge sind die möglichen Konzepte zur AWN kurz beschrieben:

Nur Nah-/Fernwärmenutzung

Dabei wird das heiße Gasturbinenabgas in einen AHK geführt. Im AHK kann Dampf bzw. Heißwasser für Industriebetriebe bzw. Wohngebiete als Nah-/Fernwärme zur Verfügung gestellt werden. Voraussetzung ist das Vorhandensein von Wärmeabnehmern in vernünftiger Nähe. Die Schwankungen in der Wärmeabnahme können durch Warmwasserspeicher ausgeglichen werden.

Mit nachgeschaltetem Kreisprozess (Dampfturbinenprozess)

Dabei wird im AHK Dampf erzeugt, der anschließend über eine DT entspannt wird. Aufgrund der Leistungsklasse werden 1- oder 2-Druck AHK in horizontaler oder vertikaler Bauart verwendet. Die DT kann als Kondensations- bzw. Entnahme-Kondensationsdampfturbine ausgeführt werden. Die anschließende Kondensation des entspannten Dampfes kann mittels Frischwasserkühlung, Kühlturm oder Luftkondensator (Luko) durchgeführt werden. Der Wasser-/Dampfkreislauf wird

über die Speisewasserpumpe, die das Kondensat wieder in den Abhitzekegel zurückführt, geschlossen.

Mobile Wärmespeicher (z. B. Sorptionsspeicher)

Eine weitere innovative Möglichkeit bietet sich durch die Weiterentwicklung von Wärmespeichersystemen [5, 6] an. Dieses Konzept kann zum Einsatz kommen, wenn kein Nah-/Fernwärmenetz zur Verfügung steht bzw. die Realisierung aus wirtschaftlichen Gründen nicht umsetzbar ist. Diese Wärmespeichersysteme bestehen aus einer Ladestation in der AWN-Anlage und mobilen Wärmespeichern, die als 20-Fuß-Container, gefüllt mit 15 bis 20 Tonnen Zeolith ausgeführt werden könnten. Die Beladung der Wärmespeicher passt sich der zur Verfügung stehenden Wärme an, wodurch Schwankungen in der Wärmebereitstellung durch die GVS und Wärmenutzung beim Wärmeendverbraucher entkoppelt werden können. Da der Transport den Hauptanteil der Kosten verursacht, sollten die Transportwege möglichst gering gehalten werden. Entscheidend für die Rentabilität ist eine konstante Nachfrage. Weiterhin sind die hohen Investitionskosten und der Platzbedarf für den Container zu berücksichtigen. Immerhin hat die Internationale Energieagentur (IEA) eine Arbeitsgruppe zu diesem Thema eingesetzt.

Kommentierung der unterschiedlichen Konzepte

Beim reinen Nah-/Fernwärmebetrieb kann es zu großen Schwankungen in der Bereitstellung der lieferbaren Wärme kommen, da der GVS-Betrieb vom Gastransportvolumen und nicht von den Wärmeabnehmern bestimmt wird. Revisionen von Hauptkomponenten und Stillstände der GVS, die aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen (z. B. Übernahme

der Pumpleistung durch vorhergehende bzw. nachfolgende GVS in einem Fernleitungssystem) können zu Engpässen bzw. Ausfall der Wärmelieferung führen. Weiterhin muss ein entsprechendes Nah-/Fernwärmenetz mit Wärmeabnehmern zur Verfügung stehen.

Der nachgeschaltete Kreisprozess (Dampfturbinenprozess) bietet das größte Potenzial, da der produzierte Strom in das Stromnetz eingespeist und damit der energetische Wärmehalt des heißen Abgases weitgehend genutzt wird. Der im AHK für den Dampfturbinenprozess nicht nutzbare Anteil am Abgaswärmehalt kann durch eine Nah-/Fernwärmeauskopplung zusätzlich noch bereitgestellt werden.

Mobile Wärmespeichermodule stellen eine innovative Möglichkeit dar. Über Kundenakzeptanz und zum noch erforderlichen Entwicklungsaufwand sind noch weiterführende Studien notwendig.

GVS + AWN Weitendorf (Ö)

Die Trans Austria Gasleitung GmbH, an der die ENI International B.V. (89 %) und OMV Gas GmbH (11 %) beteiligt sind, betreibt in Österreich das Ferngasleitungssystem der „Trans-Austria-Gasleitung“ (TAG) für die Versorgung des Inlandes sowie für den europä-

ischen Erdgastransit des aus Russland über die Slowakei gelieferten Erdgases nach Italien und über eine Zweigleitung der OMV-AG auch nach Slowenien (Bild 1). Entlang dieses Pipelinesystems wurde im Oktober 2009 die GVS Weitendorf zur Erhöhung des Durchsatzes des TAG Systems fertig gestellt.

Die Gründung der Tochtergesellschaft OMV Power International und der damit startende Aufbau der Business Unit Power im Jahr 2007 markieren den Einstieg der OMV in das Stromgeschäft. Die Business Unit Power koordiniert alle Aktivitäten der OMV in diesem Bereich.

Anlagenkonzept

In der GVS Weitendorf sind drei Gasturbinen des Typs PGT25 von Nuovo Pignone zum Antrieb der Verdichter installiert.

Die GVS ist so ausgelegt, dass jeweils zwei der drei Stränge gleichzeitig in Betrieb sind, um die zu transportierende Erdgasmenge zu fördern. Der dritte Strang wird in Reserve gehalten und ermöglicht auch während einer Revision den ungestörten Betrieb von mindestens zwei Gasturbinen.

Bereits bei der Planung der GVS wurde der Platzbedarf für die AWN-Erweiterung eingeplant, so dass eine spätere Erweiterung mit

der AWN-Anlage leichter umzusetzen ist. Ein weiteres Hauptaugenmerk lag in der Forderung, die GVS uneingeschränkt zu betreiben, daher wurde auf die vollständige verfahrenstechnische Trennung der beiden Anlagen großer Wert gelegt, ein uneingeschränkter Betrieb der GVS ist auch bei einer Störung in der AWN möglich.

Verfahrensbeschreibung

Abhängig vom transportierten Erdgastransportvolumen in der Gasleitung werden ein oder zwei Gasturbinen zum Antrieb der Erdgasverdichter verwendet. Die heißen Abgase (Temperatur von ca. 570 °C im Auslegungspunkt) werden vor dem Start der AWN über den Bypasskamin direkt an die Atmosphäre abgegeben. Dabei kommt ein Doppelklappensystem zum Einsatz, das den Rauchgaskanal zur AWN hin absperrt, jedoch den Abgasweg zum Bypasskamin offen hält. Nach Feststellung stationärer GVS-Betriebsparameter werden die heißen Abgase durch den (innen isolierten) Rauchgaskanal in den AHK geführt. Im AHK erfolgt die Wärmeabgabe vom heißen Abgas über Überhitzer-, Verdampfer- und Vorwärmerwärmetauscher an den Wasser-/Dampfkreislauf (Bild 2). Das Rauchgas kühlt dabei auf 140 °C ab und wird über den Kamin an die Umgebung abgeführt. Eine weitere Absenkung der Rauchgastemperatur auf

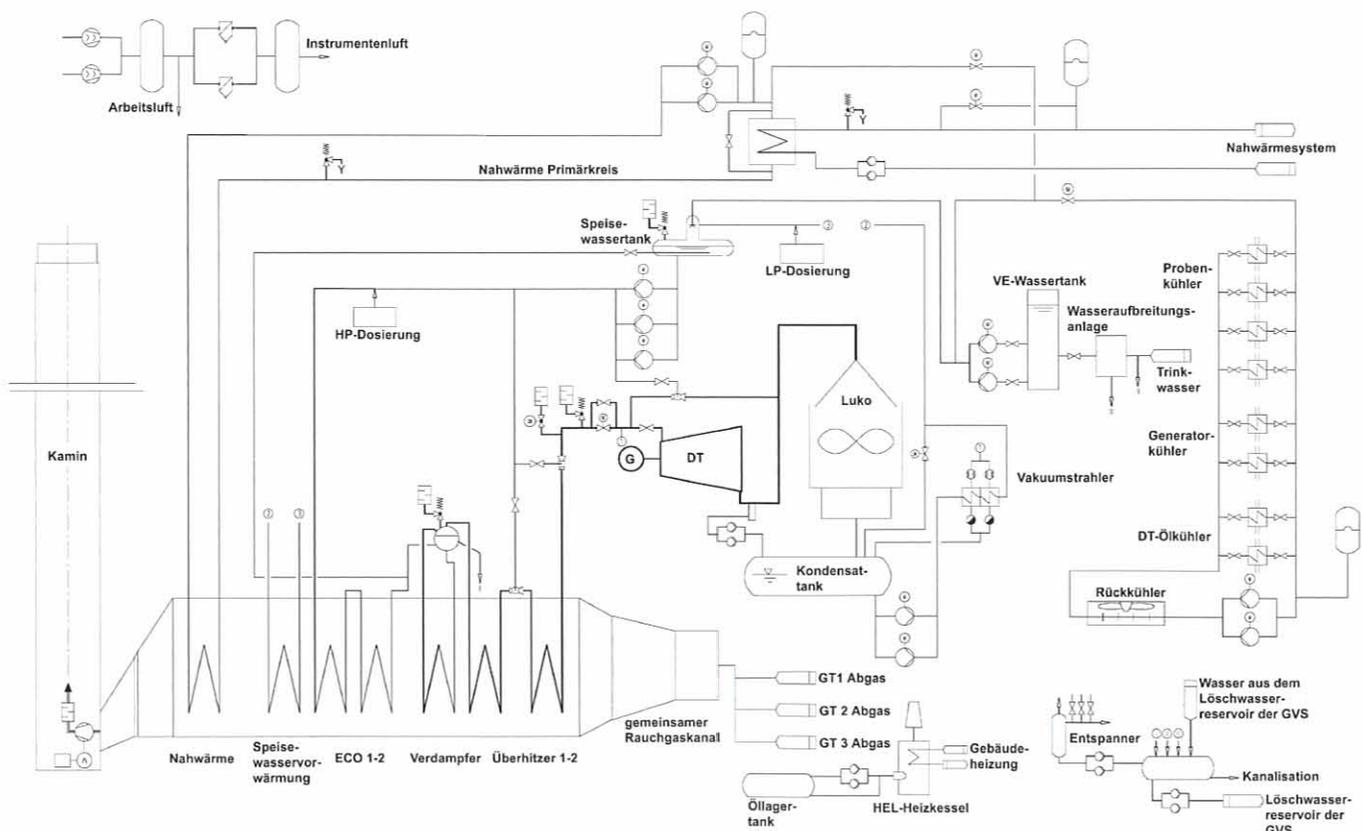


Bild 2: Schaltschema der AWN-Anlage Weitendorf

Fig. 2: Circuit diagram of the Weitendorf heat-recovery system

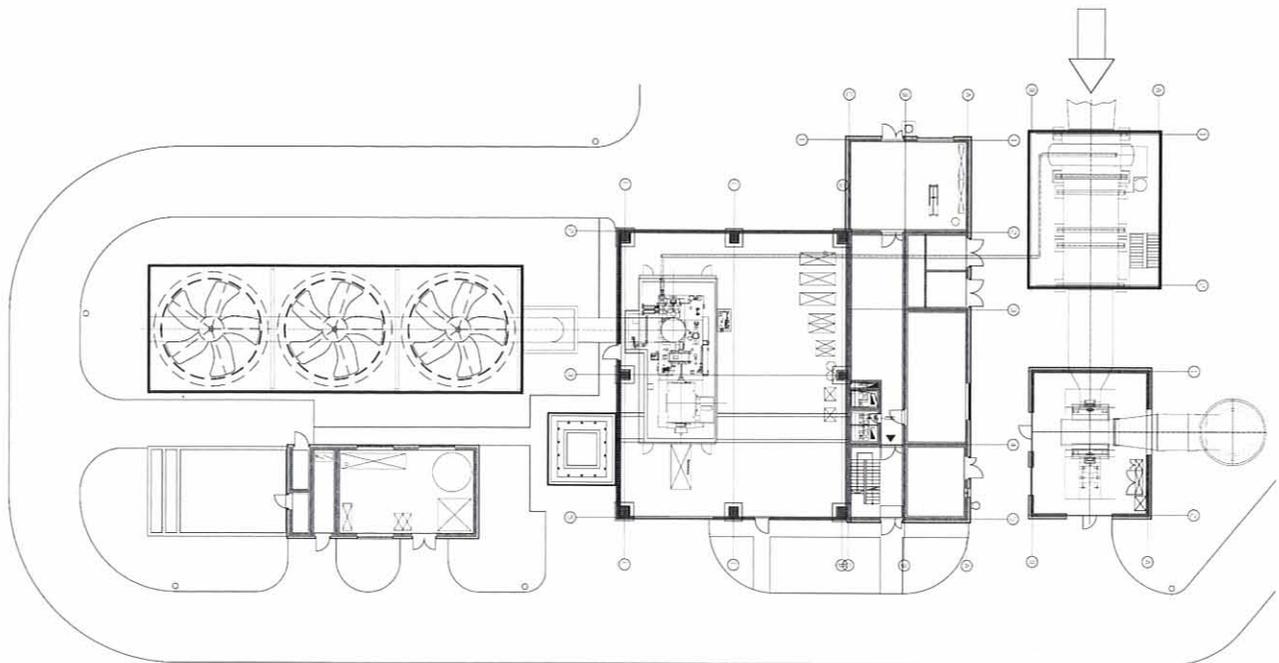


Bild 3: Layout AWN Weitendorf

Fig. 3: Layout of the Weitendorf heat-recovery system

90 °C (und somit erhöhter Abwärmenutzung) kann durch einen zusätzlichen Nahwärme-Wärmetauscher erreicht werden, diese Option ist jedoch derzeit mangels lokaler Wärmeabnehmer nur baulich vorgesehen. Eine spätere Nachrüstung ist aber jederzeit möglich.

Der im AHK erzeugte überhitzte Dampf mit 480 °C und 27 bar wird über die Frischdampfleitung der Kondensationsdampfturbine zugeführt. Durch die Entspannung in der DT auf den Turbinenenddruck wird mechanische Energie freigesetzt, die in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Anschließend wird der entspannte Dampf über die Abdampfleitung dem Luko zugeführt. Im Luko erfolgt die Kondensation des Abdampfes, das dabei anfallende Kondensat wird mittels Pumpen zunächst in den Kondensattank und dann weiter in den Speisewassertank zurückgefördert. Im Speisewassertank erfolgt die zur Erhaltung der Dampfqualität erforderliche Entgasung mittels Rieselektroden. Abschließend wird das Speisewasser mittels Speisewasserpumpen auf Betriebsdruck gebracht und den Wärmetauschern im AHK zugeführt, somit ist der Wasser-/Dampfkreislauf geschlossen.

Der Wasser-/Dampfkreislauf wird mit voll entsalztem Wasser (VE-Wasser) hoher Qualität betrieben. Da es sich jedoch um ein geschlossenes System handelt, ist die Aufkonzentration von Verunreinigungen unvermeidlich, daher muss ein geringer Teil des Speisewassers kontinuierlich abgeführt und durch frisches VE-Wasser ersetzt werden. Dieses VE-Wasser wird in der Wasseraufbe-

reitungsanlage produziert und dem Wasser-/Dampfkreislauf entsprechend zugeführt.

Betriebskonzept

Der Betrieb der GVS richtet sich nach den zu bewältigenden Gastransportvolumina. Somit ergibt sich aber auch eine, dem jeweiligen Betriebspunkt der Erdgasverdichter und somit der Gasturbine, entsprechende Abgasmenge und -temperatur. Daher sind die erzeugbaren Dampfparameter nicht frei wählbar, sondern hängen vom zur Verfügung stehenden Abgas ab.

Eine Zusatzfeuerung im Abhitzekeessel zur Abgastemperatursteigerung ist nicht vorgesehen.

Der Betrieb der AWN erfolgt vollautomatisch, ausgenommen das Anfahren der Anlage und Abstellen zur Revision erfordert zusätzliche Eingriffe des Betriebspersonals. Die Steuerung und Regelung der AWN erfolgt unabhängig von der Stationssteuerung der GVS. Ein minimaler Signalaustausch mit der GVS für wichtige Verriegelungen ist vorzusehen.

Die AWN ist für einen Betrieb ohne ständige Beaufsichtigung (BosB) über 72 Stunden ausgerüstet. Während der arbeitsfreien Zeit werden Störungen und Trips automatisch auf das Funktelefon des Betriebspersonals gemeldet und die Anlage fährt bei gewissen Anlagestörungen (Trip der DT, Kesselschutz, usw.) automatisch in den Ruhezustand.

Nur bei tiefen Umgebungstemperaturen und längeren Stillstandzeiten ist eine manuelle

Entleerung des Abhitzekeesselwasserinhalts notwendig, um die Gefahr von Frostschäden zu vermeiden. Bei kurzen Stillständen kann dies durch eine Stillstandsheizung vermieden werden, wobei ein ölgefeuerter Kessel die erforderliche Wärmeleistung bereitstellt. Aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten wird bei längeren Stillständen die Entleerung vorgezogen. Der Abhitzekeesselwasserinhalt wird in einem Tank zwischengelagert und nach einer Wiederaufbereitung in den Wasser-/Dampfkreislauf wieder rückgeführt.

Die Einbindung an das Mittelspannungsnetz des EVUs mit 20 kV ist vorgesehen. Wenn die Dampfturbinenanlage elektrische Energie erzeugt, wird die GVS mitversorgt. Bei einem Stromausfall werden wichtige Verbraucher durch die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (UVS) versorgt. Bei einem ungeplanten Abfahren werden vorrangig das niedertourige Drehen der Dampfturbine und der Betrieb der Notölpumpe sichergestellt.

Aufstellungsplan

Über dem Dach der GVS werden die einzelnen von den drei Gasturbinen kommenden Abgasleitungen in einem Rauchgaskanal zusammengeführt, der zum AHK geführt wird. Der AHK ist in horizontaler Bauweise ausgeführt. Vom AHK führt die Frischdampfleitung zur ebenerdig aufgestellten Dampfturbine in das Maschinenhaus (**Bild 3**). Die DT-Abdampfleitung wird nach oben abgeführt und in den Luftkondensator geleitet.

Leistungsberechnung

In klassischen thermischen Kraftwerksanlagen wird der verbrauchte Brennstoff als Aufwand dem daraus erzeugten Strom als Nutzen gegenübergestellt. Betrachtet man die AWN als eigenständige Anlage, so existiert die Aufwandsgröße „Brennstoff“ nicht, die der AWN zugeführte Energie entspricht dem Wärmehalt des Abgases der GVS. Zur Bestimmung des Wärmehalts des Abgases ist neben dem Massenstrom die Temperatur als Messgröße notwendig. Um die Messgenauigkeit durch eine Messung im rechteckig ausgeführten Rauchgaskanal zu vermeiden, wurde die Massendurchsatzmessung unter Einhaltung einer ausreichend langen Zulaufstrecke im Kamin des Abhitzeessels angeordnet.

Zusammenfassung und Ausblick

Das bei der GVS Weitendorf angewandte Konzept kann für bestehende GVS, die derzeit mit Gasturbinen noch im Open-Cycle betrieben werden, als Modell für eine AWN-Erweiterung

dienen. Bedenken der GVS-Betreiber in ihrem Betrieb eingeschränkt zu werden, können entkräftet werden.

Da AWN-Anlagen keine zusätzlichen CO₂-Emissionen an die Umgebung abgeben, stellt diese Technik einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen dar.

Literatur

- [1] Gas Turbine World 2007-2008, Volume 26, Pequot Publication
- [2] Haußmann, K.: Abwärmenutzung auf einer Erdgasverdichterstation – Umsetzung und Betriebserfahrungen, VDI-Berichte Nr. 2051, 2008
- [3] Gericke, B.: Integrierte Abwärmenutzung in Pipeline-Verdichterstationen – Teil 1: Gasturbinen für Verdichterstationen, VGB Power Tech 2, 2002
- [4] Gericke, B.: Integrierte Abwärmenutzung in Pipeline-Verdichterstationen – Teil 1: Dampfturbinen und Dampferzeugerbauarten, VGB Power Tech 3, 2002

- [5] Grosch, G.: Pack den Tiger in das Zeolith. Schwerpunkt Energiespeicher. Zeitschrift: Technik in Bayern. 12. Jhg, Nov./Dez. 2008
- [6] Tamme, R.: Thermische Speicher für Prozesswärme und Kraftwerkstechnik. Schwerpunkt Energiespeicher. Zeitschrift: Technik in Bayern. 12. Jhg, Nov./Dez. 2008

Autoren:

Dipl.-Ing. Gerald Kulhanek
ILF Beratende Ingenieure ZT
GmbH

Tel. +43 512 24 12-4514
E-Mail: gerald.kulhanek@ilf.com



Dipl.-Ing. Miroslav Kovacic
OMV Power International GmbH

Tel. +43 1 27500-28531
E-Mail:
Miroslav.Kovacic@omv.com



**Auch für Kühlkreisläufe
und Wärmeübertrager:
Die Complex®-Reinigung
von Hammann.**

www.hammann-gmbh.de

Wir übernehmen die Leitung auch für guten Wärmeübergang. Mit unserem Complex®-Verfahren reinigen wir Kühlkreisläufe und Wärmeübertrager, mit Wasser und Luft, ohne Demontage und ohne lange Stillstandszeiten. Ob Wärmeübertrager in offenen, mit Brunnenwasser betriebenen Anlagen, in geschlossenen Kühlkreisläufen oder in Abwasserdruckleitungen zur Kläranlage: Anschließen-Reinigen-Abbauen-Fertig. Fordern Sie Infomaterial an oder besuchen Sie uns im Internet.

■ Hammann GmbH
Zweibrücker Straße 13
D-76855 Annweiler am Trifels
Tel. +49 (0) 63 46/30 04-0
info@hammann-gmbh.de

 **HAMMANN**
COMPLEX® IMPULSE FÜR SAUBERE ROHRNETZE

