

VGB PowerTech

International Journal for Electricity and Heat Generation

Die hybride Verbrennungsluft- konditionierung an Gasturbinen

Ein neues Verfahren zur Optimierung
des Gasturbinenbetriebes

Von Dr.-Ing. Frank Triesch



**Innovative Lösungen im Dienste
des Menschen und der Umwelt**

Thermo Integral GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Frank Triesch

Gutsparkstr. 5-9

04328 Leipzig

Tel.: +49 341 252 27 62

Fax: +49 341 252 27 63

E-Mail: triesch@gmx.de

Mobil: +49 172 344 58 17

SONDERDRUCK

Die hybride Verbrennungsluftkonditionierung an Gasturbinen

Ein neues Verfahren zur Optimierung des Gasturbinenbetriebes

Abstract

Hybrid Combustion Air Conditioning at Gas Turbines – A New Method to Optimise the Operation of Gas Turbines –

In steady-state operation, gas turbines serve to drive electrical generators, gas compressors and fluid pumps. Their advantage relates to simple design, an extremely high power density, a long service life and the option of operation with various calorific values. In recent years, it has been possible to increase the output and efficiency of gas turbines and reduce pollutant gas emissions in the waste gases in line with more stringent legislation. However, secondary processes of gas turbines continue to have an important optimisation potential. Hybrid conditioning of combustion air is a simple way to open up interesting, so far unused, synergy effects. The efficiency of the gas turbine is increased in nearly all operating modes throughout the whole year thanks to the combination of side-cooling, fuel pre-heating, anti-icing and air humidification. This decreases the specific costs. The electrical output is increased; however, it can also be decreased artificially if required. Thus, profits are increased and the plant operator is disposing of a larger variety of different economic modes of operation. Apart from the protection of the turbine from condensation and icing in the air and gas duct, further positive side-effects will result: the back-cooling capacity is increased, the combustion air is pre-filtered, the filter lifetimes are increased and the NO_x emissions are reduced, possibility with online scrubbing of the compressor also at negative temperatures. Depending on the initial situation, the new process of hybrid combustion air conditioning will amortise after about two years thanks to the increase in output and efficiency. In case of a new power plant the investment cost can also be decreased apart from the operating cost. The paper will describe in detail the process steps and technical measures to achieve this goal.

Nebenprozesse an Gasturbinen: Bemerkenswertes Optimierungspotential

Abhängigkeit von Leistung und Wirkungsgrad von der Ansauglufttemperatur

Gasturbinen sind durch die Verwendung eines Axialverdichters bei konstantem Be-

Autor

Dr.-Ing. Frank Triesch
Geschäftsführer,
Thermo Integral GmbH & Co. KG,
Leipzig/Deutschland.

triebsvolumenstrom in ihrer Leistung und Effektivität unter anderem stark abhängig von der Temperatur der Prozessluft am Verdichtereintritt. Mit steigender Ansauglufttemperatur fallen die Luftdichte und damit der vom Axialverdichter angesaugte Luftmassenstrom sowie in der Folge die Leistung und der Wirkungsgrad der Gasturbine (Bild 1).

Durch die künstliche Kühlung der Ansaugluft im Sommer können der angesaugte Luftmassenstrom, die Leistung und der Wirkungsgrad wieder erhöht werden, wobei folgende Verfahren zur Anwendung kommen:

- Direkte Kühlung der Ansaugluft mit Wasser:
 - Eindüsung in den Luftstrom mit Einstoff-Hochdruck-Düsenstöcken (nur in groben Stufen regelbar).
 - Eindüsung in den Luftstrom mit Zweistoff-Düsenstöcken (Zusatzverbrauch an Druckluft).
 - Riesel- oder Filmbefeuchtung an Kühleinsbauten (max. 65 bis 80 % r. F.).
 - Durchströmung von Eisspeichern.
- Indirekte Kühlung der Ansaugluft durch Wärmeübertrager, gekühlt mit:
 - Absorptions-Kältemaschinen,
 - Adsorptions-Kältemaschinen,
 - Kompressions-Kältemaschinen.

Kältemaschinen sind aufwändig in Investition und Betrieb. Kompressions-Kältemaschinen erfordern hochwertige Elektroenergie zum Antrieb. Die in Wärme umgewandelte Antriebsenergie und die dem Ansaugluftstrom entnommene Wärme müssen an die Umgebungsluft abgeführt werden. Dazu sind wiederum große Rückkühlwerke erforderlich, die ebenfalls Wasser und Elektroenergie verbrauchen.

Anti-Icing

In kälteren Gegenden tritt im Winter bei hohen Ansaugluftfeuchten die Gefahr der Vereisung des Eintrittsdiffusors des Axialverdichters und der Ansaugluftfilter auf. Dem wird entgegengewirkt, indem die relative Feuchte durch die Luftvorwärmung künstlich reduziert wird. Dieser Prozess wird in Fachkreisen Anti-Icing genannt. Dafür werden folgende Verfahren und Wärmequellen herangezogen:

- Direkte Vorwärmung der Ansaugluft durch Mischung mit:

- warmer Luft aus dem Verdichteraustritt (reduziert Leistung und Wirkungsgrad),
- warmer Abluft des Packages der Gasturbine
- warmem Abgas (seltener).
- Indirekte Vorwärmung der Ansaugluft mit Wärmeübertragern im Ansaugluftstrom mit:
 - Wärme aus einem GuD-Kreislauf.
- Infrarot-Bestrahlung der frostgefährdeten Oberflächen.

Die Ansaugluftvorwärmung bewirkt jedoch für sich genommen, wie bereits oben angeführt, eine Reduzierung des angesaugten Luftmassenstromes, der Leistung und des Wirkungsgrades der Gasturbine. Diese Reduzierung ist besonders hoch, wenn für das Anti-Icing warme Luft aus dem Verdichteraustritt genutzt wird, weil sie nach bereits erfolgter Verdichtung dem Prozess entnommen wird und nicht mehr zur Verrichtung von Arbeit in der Gasturbine und dem Dampfprozess zur Verfügung steht.

Teillastbetrieb

Für den Betrieb mit Teillast wird bei Gasturbinen vordringlich der durchgesetzte Ansaugluftmassenstrom reduziert, was mit der Anstellung der Leitschaufeln am Eintritt des Axialverdichters (VIGV) erfolgt. Diese Maßnahme verschlechtert die Strömungsbedingungen auf der Saugseite und senkt damit den Wirkungsgrad des Verdichters der Gasturbine. Außerdem führt der so reduzierte Luftmassenstrom bei einem kombinierten Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) auch zur Minderung der Parameter im nachgeordneten Dampfprozess.

Nebenkühlkreislauf

Gasturbinen sind äußerst effektive Antriebe. Gleichwohl fällt in Nebenprozessen (Ab)wärme an, die über gesonderte Kühlsysteme an die Umgebung abgeführt werden muss. Dazu gehört die (Ab)wärme des Schmieröls der Lager und gegebenenfalls vorhandener Getriebe, des Generators und, je nach Fabrikat, auch anderer (Ab)wärmequellen. Insbesondere in wärmeren Regionen – aber auch infolge des globalen Klimawandels – werden diese Kühler häufig zum Problem für den Betrieb der Gasturbinen. Die Schmieröltemperatur kann im Sommer nicht mehr eingehalten, die Gasturbinenleistung muss reduziert, selten auch der Betrieb zeitweilig komplett eingestellt werden. Das Schmieröl altert schneller, gegebenenfalls sind andere Schmierölsorten einzusetzen.

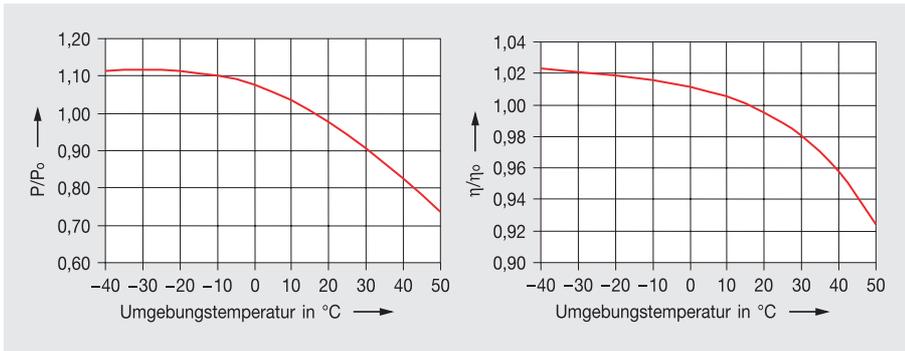


Bild 1. Beispiel der Abhängigkeit von Leistung und Wirkungsgrad einer Gasturbine von der Umgebungstemperatur.

Brennstoffvorwärmung

Bei mit Erdgas betriebenen stationären Gasturbinen ist eine Brennstoffvorwärmung erforderlich, um den Joule-Thomson-Effekt bei der Entspannung des Erdgases vom Pipeline- auf den Brennkammerdruck zu kompensieren. Die beim isenthalpen Drosselprozess erfolgende Temperaturabsenkung des Erdgases kann, je nach Druckverhältnis am Regler und Eintrittstemperatur des Gases aus der Pipeline so stark sein, dass die Gefahr einer Unterschreitung des Wasserdampftaupunktes und folglich einer Vereisung innerhalb und außerhalb der Gasleitung besteht.

Für Gasturbinen mindestens ebenso folgenreich kann die Unterschreitung des Kohlenwasserstofftaupunktes im Erdgas sein. Im Erdgas anzutreffendes Propan, Butan und andere höhere Kohlenwasserstoffe fallen bei niedrigen Temperaturen und/oder Drücken zu einem gewissen Teil in flüssiger Phase aus. Gelangt diese Phase als „Hot-spots“ in Form von größeren Tropfen brennend in die Gasturbine, kann es zu den gefürchteten Schäden an der Turbinenbeschauelung kommen (auch als „Metal dusting“ bezeichnet).

Die Gasturbinenhersteller fordern deshalb eine in jedem Betriebspunkt um mindestens 15 K über dem Kohlenwasserstoff- bzw. Wasserdampftaupunkt liegende Gastemperatur am Brennkammereintritt. Diese Brenngasvorwärmung erfolgt in Gasdruckregelstationen häufig mit einem gesonderten Heizhaus mit nicht unbedeutendem Brenngaseigenverbrauch.

Darüber hinaus wird in Kraftwerken das Brenngas unmittelbar vor der Gasturbine weiter erwärmt, momentan bereits auf Temperaturen von rund 200 °C. Diese Vorwärmung erfolgt mit Wärme aus dem GuD-Prozess. Die Folge sind eine dem Wärmeäquivalent entsprechende Brenngaseinsparung sowie ein fast proportionaler Wirkungsgradanstieg des GuD. Auch flüssige Brennstoffe werden vorgewärmt, hier jedoch vorwiegend, um ihre Fließfähigkeit zu erhöhen.

Die Verbindung von Nebenkühlung, Brennstoff-Vorwärmung, Anti-Icing und Luftbefeuchtung zum neuen Verfahren der hybriden Verbrennungsluftkonditionierung

Für die Konditionierung der Ansaugluft an Gasturbinen ist ein neues Verfahren entwickelt worden, das mit wenigen bekannten und bewährten Komponenten folgende Aufgaben realisiert:

- Rückkühlung des Nebenkühlkreislaufes (Schmieröl, Generator usw.),
- Brennstoffvorwärmung,
- Verbrennungsluftkonditionierung der Gasturbine durch:
 - indirekte Vorwärmung der Ansaugluft bei Frostgefahr (Anti-Icing),
 - direkte adiabatische Kühlung durch Befeuchtung der Ansaugluft bei positiven Umgebungstemperaturen,
 - indirekte Vorwärmung der Ansaugluft zur gezielten Leistungsreduzierung (Teillastbetrieb).

Dazu werden mit dem geschlossenen Nebenkühlkreislauf, der mit Wasser oder Wasser-Glykol-Gemisch befüllt wird, die (Ab)wärmequellen Generator, Schmieröl und andere mit einem in der Brennstoffleitung zu installierenden Doppelrohrsicherheitswärmeübertrager und in der Ansaugluft zu installierenden Hybridkühlern untereinander verbunden zu einem System der hybriden Verbrennungsluftkonditionierung (Bild 2).

Hybridkühler

Hybridkühler wurden bisher zur Rückkühlung eingesetzt. Bis zu Außentemperaturen von etwa 7 bis 18 °C (je nach Auslegung) werden sie ausschließlich als Konvektionskühler trocken betrieben. Die Rückkühlung erfolgt dann über ein beripptes Rohrregister. Bei darüber hinaus gehenden Außentemperaturen wird es außen befeuchtet, sodass ein Wasserfilm das gesamte Register mit Sekundärwasser benetzt. Durch die teilweise Verdunstung des Benetzungswassers wird die Kühlluft bis nahe an die Sättigungsgrenze befeuchtet, und es erfolgt eine indirekte adiabatische Zusatzkühlung. Die Benetzung erfolgt mit Wasserüberschuss, um Verschmutzungen aus der Umgebungsluft sicher auszuspülen und ein Abtrocknen der Lamellen während der Benetzung zu vermeiden. Das überschüssige Wasser wird in einer Wanne unter dem Kühler oder in einem separaten Tank aufgefangen und wieder dem Benetzungskreislauf zugeführt, bis die zulässige Eindickung erreicht ist und die automatische Abflutung erfolgt. Die Luftzirkulation erfolgt mit drehzahlregulierten Ventilatoren. Hybridkühler zeichnen sich so durch einen sparsamen Umgang mit Wasser und Elektroenergie aus.

Aus dem Hybridkühlerbau abgeleitete Kühlelemente dienen nun auch der Verbren-

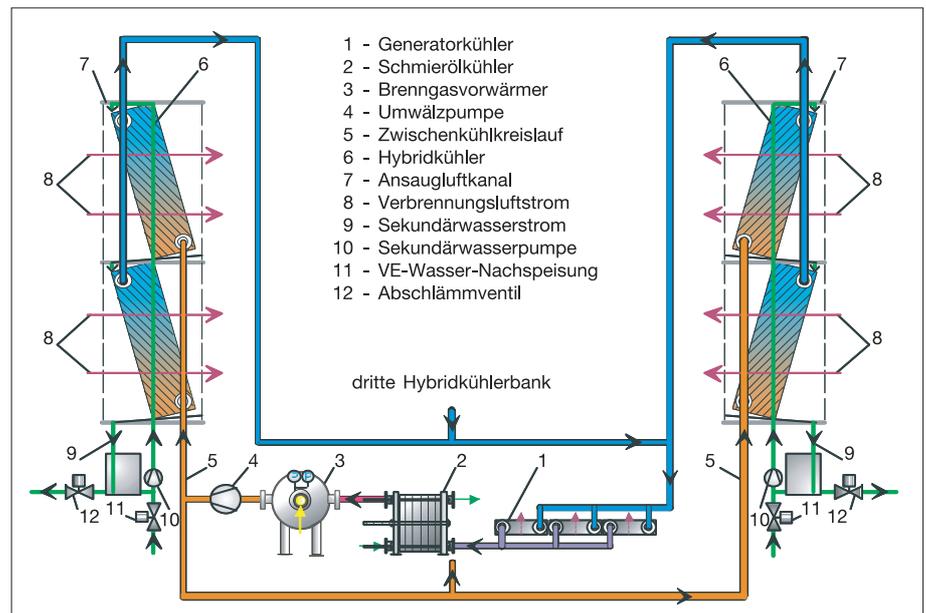


Bild 2. Schema eines hybriden Verbrennungsluftkonditionierungssystems für Gasturbinen.



Bild 3. Im Gebäude eingebaute Hybridkühler.

nungsluftkonditionierung und werden direkt in den Ansaugluftstrom installiert (Bild 3).

Ausgelegt werden die Hybrid-Wärmeübertrager auf den zulässigen zusätzlichen Druckverlust im Air-Intake, z. B. auf 100 Pa. Dadurch sind sie so groß dimensioniert, dass eine Kühlung des Zwischenkühlkreislaufes mit kleinsten Temperaturdifferenzen zwischen der Luft und dem Kühlwasser erfolgt. Der zusätzliche ansaugseitige Druckverlust bedingt eine Reduzierung der abgegebenen Leistung der Gasturbine um etwa 0,10 bis 0,15 %, was gegenüber dem erzielbaren Effekt vernachlässigbar ist. Durch die Luftwäsche erfolgt bei Befuchtungsbetrieb eine Entlastung der jeweils nachgeordneten Luftfilter, was zu einer bedeutenden Standzeiterhöhung der Filterelemente führt.

Am Eintritt der Gasturbine werden bei Befuchtungsbetrieb konstant etwa 90 % r. F. ohne nennenswerten Tropfenausstrag erreicht. Befuchtungsbetrieb ist bei positiven Außenlufttemperaturen oberhalb von 5 bis 7 °C möglich. Kein anderes Befuchtungsverfahren ist ebenso gut regelbar und effektiv.

Als Standardmaterial für die Rippen wird Aluminium walzhart, elektro-phoretisch beschichtet eingesetzt. Der Rippenabstand beträgt 2,85 mm, die Rippenstärke 0,3 mm. Diese Lösung ist korrosionsunempfindlich und hat deshalb eine hohe Lebensdauer.

Atmosphärische Verschmutzungen werden üblicherweise durch das Benetzungswasser

ausgewaschen. Bei stärkeren Verschmutzungen genügt ein Weichwasserstrahl, um den Kühler abzuspritzen. In besonders hartnäckigen Fällen kann ein Hochdruckreiniger bis 120 bar Düsendruck eingesetzt werden. Bei lang andauernder Benetzung und starkem Befall mit langfasrigen Blüten empfiehlt es sich aus Erfahrung, den Kühler während der Benetzungsperiode regelmäßig alle ein bis zwei Monate zu waschen. Sollten Bedenken bezüglich der Standfestigkeit der Aluminiumrippen bestehen, z. B. in Wüstenregionen mit permanentem Sandanfall in der Ansaugluft, sollten die Hybridkühlerelemente zwischen den Vor- und den Feinfiltern der Gasturbine angeordnet werden (Bild 4).

Für das Rohmaterial wird Kupfer eingesetzt. Bei Bedarf können auch Rohre aus Edelstahl verwendet werden, was jedoch nicht unbedingt erforderlich ist, da der Zwischenkreislauf geschlossen ausgeführt wird. Edelstahlrohre haben eine Wandstärke von 0,75 mm.

Die Benetzung der Hybridkühler sollte mit vollentsalztem Wasser erfolgen. Die dann wesentlich seltener erforderliche Abschlämung wird durch eine Leitfähigkeitsmessung im Sekundärwasserkreislauf gesteuert, was zum sparsamen Umgang mit dem Zusatzwasser beiträgt. Die thermische Leistung und die Lufttemperatur am Austritt der Hybridkühler können mit der Benetzungswassermenge in einem gewissen Umfang geregelt werden. Die Bandbreite der Benetzung beträgt rund 30 bis 100 %.

Zur Vermeidung biologischen Wachstums im Sekundärwasserkreislauf kann optional eine Biozid-Dosiereinrichtung verwendet werden (Bild 5).

Brennstoffvorwärmung

Eine Brennstoffvorwärmung mit der (Ab)wärme der Gasturbine ist sinnvoll, wenn der Brennstoff selbst ausreichend niedrige Temperaturen hat. Das ist bei Erdgas der Fall, das aus einer Pipeline mit hohem Druck entnommen wird und sich bei der Entspannung auf den Verbrennungsdruck durch den Joule-Thomson-Effekt selbst stark abkühlt.

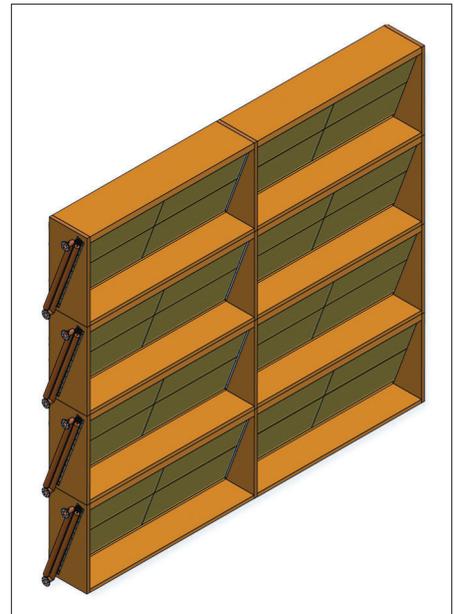


Bild 5. Hybridkühlerbank aus vier übereinander angeordneten Hybridkühlerelementen.

Reicht der Brenngasdruck in der Pipeline für den Gasturbinenbetrieb nicht aus und muss das Erdgas deshalb speziell verdichtet werden, steigt dadurch die Gastemperatur an und ist in den meisten Fällen zur Rückkühlung nicht mehr geeignet.

Kaltes Brenngas kann mit dem neuen Verfahren über den Zwischenkühlkreislauf und die Hybridkühler auch zur indirekten Kühlung der Ansaugluft herangezogen werden. Als andere Kältequelle kann unter anderem im Prozess erforderliches Frischwasser zur Nachspeisung von Kessel- und Kühlkreislauf dienen.

Durch Verwendung von Doppelrohrsicherheitswärmeübertragern (DSWÜ) zur Brennstoffvorwärmung besteht absolute Sicherheit, dass bei einer eventuellen Leckage der Brennstoff nicht in den Zwischenkühlkreislauf eintreten kann. Eine etwaige Leckage wird durch einen sicherheitsgerichteten Leckageschalter signalisiert. DSWÜ sind wartungsfrei und können durch die druckfeste Ausführung der beiden Doppelrohr-

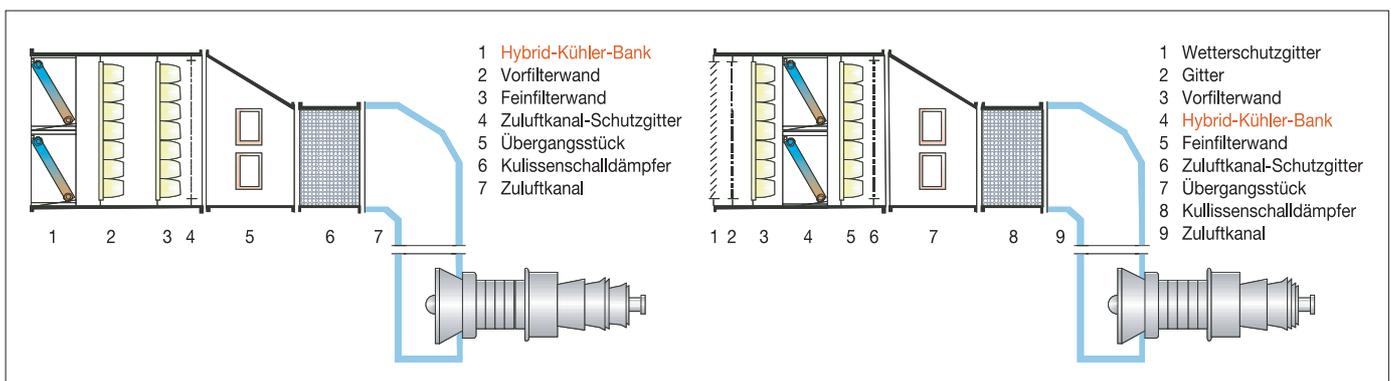


Bild 4. Möglichkeiten der Anordnung von Hybridkühlerelementen im Ansaugtrakt der Gasturbine.

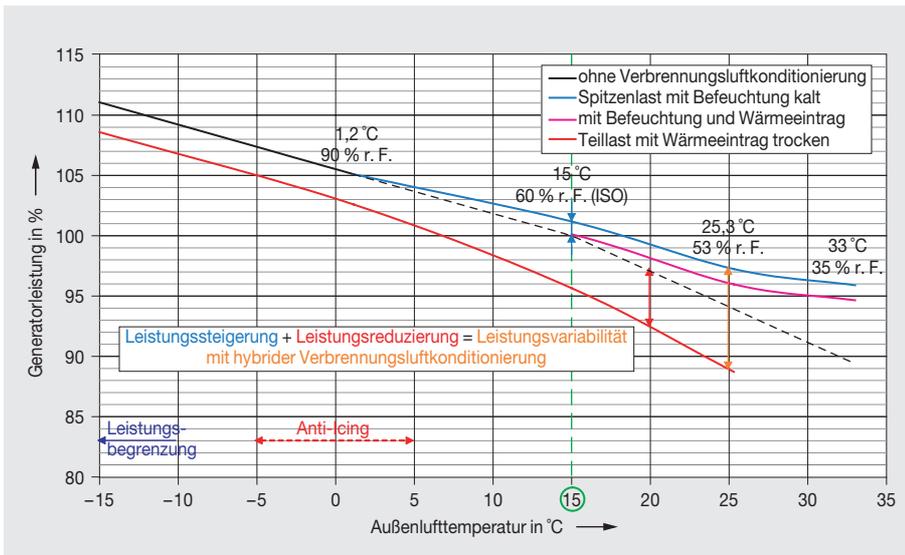


Bild 6. Leistungsvariabilität mit hybrider Verbrennungsluftkonditionierung an einer Gasturbine der 70-MW-Klasse unter Nutzung der Schmieröl(ab)wärme (1300 kW).

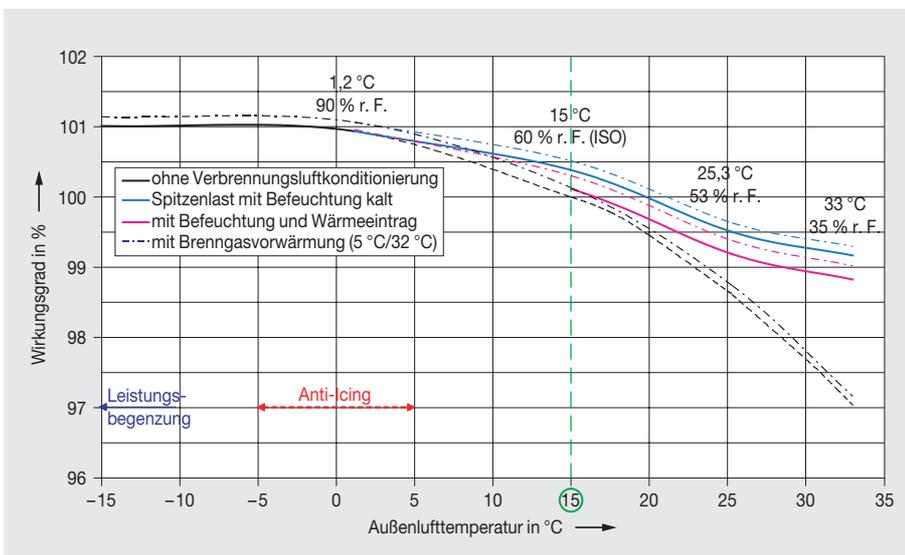


Bild 7. Wirkungsgradverbesserung mit hybrider Verbrennungsluftkonditionierung und Brenngasvorwärmung an einer Gasturbine der 70-MW-Klasse unter Nutzung der Schmieröl(ab)wärme (1300 kW).

räume auch nach einer möglichen Leckage eine begrenzte Zeit weiterbetrieben werden. In der Gasindustrie und in der Kraftwerkstechnik haben sich seit 1993 bereits über 220 DSWÜ bewährt.

Nutzen und Vorteile hybrider Verbrennungsluftkonditionierung

Aus der verfahrenstechnischen Kopplung der Rückkühlung von Nebenprozessen, der Brennstoffvorwärmung und der Verbrennungsluftkonditionierung ergeben sich sehr interessante Synergieeffekte, die am Beispiel einer 70-MW-Gasturbine vorgestellt werden sollen.

Über weite Teile des Jahres können durch die Verbrennungsluftbefeuchtung die Leistung und der Wirkungsgrad der Gasturbine ange-

hoben werden. Im Sommer sinkt die Leistung der Gasturbine im Durchschnitt nicht mehr unter 96 %, was einer Leistungssteigerung um bis zu rund 7,3 % entspricht (+ 4,3 MW bei 33 °C/35 % r. F., Bild 6).

Durch die Verbrennungsluftvorwärmung mit (Ab)wärme wird künstlich Teillastbetrieb erzeugt – die Leistungsreduzierung an der Gasturbine beträgt maximal rund – 5,6 % (entsprechend – 3,5 MW, Bild 6). Dabei ist der Wirkungsgrad eines GuD höher als bei Teillast durch Anstellung der Verdichterleitschaufeln der Gasturbine. So erhält ein GuD durch die hybride Verbrennungsluftkonditionierung eine bedeutende Leistungsvariabilität auf erhöhtem Wirkungsgradniveau.

Im Sommer sinkt der Wirkungsgrad der Gasturbine im Durchschnitt nicht mehr unter 99 % des ISO-Wirkungsgrades, was einer

Wirkungsgradsteigerung um bis zu rund 2 % relativ entspricht (+ 0,74 % absolut bei 33 °C/35 % r. F., Bild 7). Vereinfachend kann festgestellt werden: „Durch den Einsatz von vollentsalztem Wasser wird so zusätzliche Elektroenergie erschlossen“. Auch bei Anti-Icing-Betrieb mit (Ab)wärme werden Leistung und Wirkungsgrad der Gasturbine gegenüber den üblichen Verfahren angehoben.

Durchgehend bei jedem Außenluftzustand erfolgt eine äußerst effektive Rückkühlung des Schmieröls, des Generators und anderer (Ab)wärmequellen ohne zusätzlichen Verbrauch von Lüfterantriebsenergie und Sekundärwasser. Dadurch kann das herkömmliche Rückkühlwerk reduziert werden oder gänzlich entfallen, ebenso die entsprechende Aufstellfläche.

Um die abgegebene Nutzleistung der Gasturbine im ISO-Garantiepunkt (15 °C; 60 % r. F.) unverändert beibehalten zu können, ist die Rückkühlleistung im Ansaugtrakt so weit zu begrenzen, dass nach dem Hybridkühler Ansaugbedingungen von 15 °C bei etwa 90 % r. F. nicht überschritten werden. In Bild 8 sind für einige Gasturbinentypen die neutralen, d. h. ohne Reduzierung der Nutzleistung abführbaren Rückkühlleistungen dargestellt.

In vielen Fällen deckt sich diese neutral abführbare Rückkühlleistung gut mit der (Ab)wärme des Schmieröls der jeweiligen Gasturbine.

Höhere Rückkühlleistungen, die mit den Hybridkühlerelementen durchaus abführbar wären, führen zur Senkung der abgegebenen Leistung der Gasturbine im ISO-Garantiepunkt. Soll das vermieden werden, sind in diesem Fall zusätzliche Rückkühlkapazitäten unabdingbar.

Oft stimmt jedoch im konkreten Fall der Garantiepunkt nicht mit den ISO-Bedingungen überein. So kann insbesondere unter klimatischen Bedingungen mit trockener heißer Umgebungsluft wie im Nahen und Mittleren Osten mit den Hybridkühlerelementen im Ansaugtrakt bedeutend mehr Rückkühlleistung bei einer gleichzeitig beachtlichen Verbesserung der abgegebenen Leistung realisiert werden. Zusätzliche Rückkühlkapazitäten sind hier nicht erforderlich, was zu einer besonders hohen Wirtschaftlichkeit der hybriden Verbrennungsluftkonditionierung führt.

Bei positiven Außenlufttemperaturen kann befeuchtet werden. Andere Befeuchtungsverfahren sind in dieser Form nicht regelbar. Die hybride Verbrennungsluftbefeuchtung ist so auch in gemäßigten Klimazonen einsatzfähig und kommt auf Betriebszeiten von über 5000 Stunden pro Jahr.

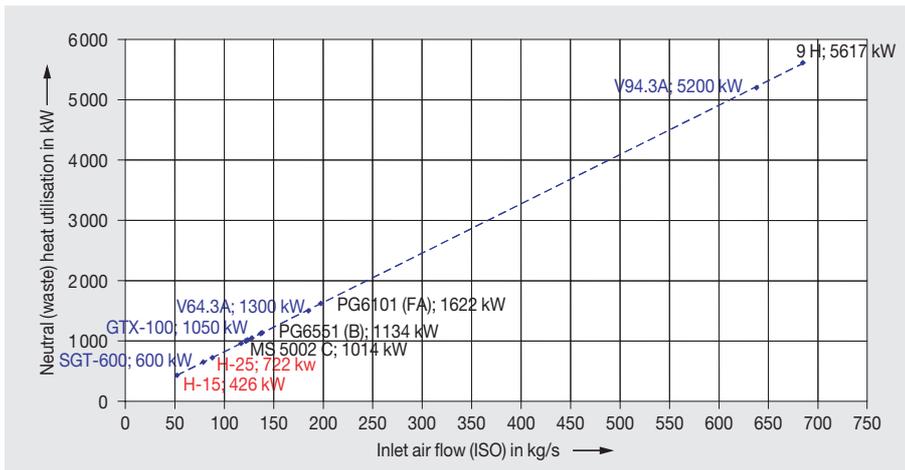


Bild 8. Durch hybride Verbrennungsluftkonditionierung neutral, d. h. ohne Reduzierung der abgegebenen Nutzleistung der Gasturbine abführbare Rückkühlleistungen für verschiedene Gasturbinentypen (15 °C, 60 % RH).

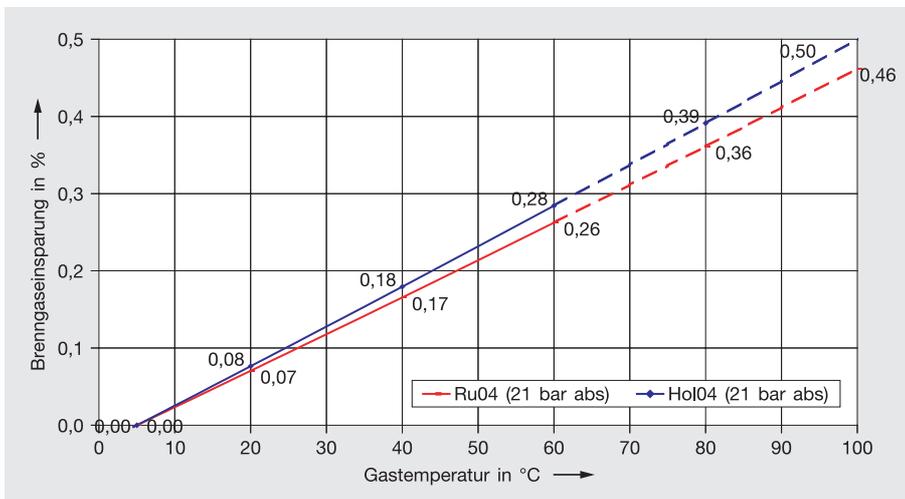


Bild 9. Brenngaseinsparung in Abhängigkeit von der Temperatur in Folge der Vorwärmung von russischem bzw. holländischem Erdgas der durchschnittlichen Gaszusammensetzung von 2004 mit (Ab)wärme (Brenngas bei einem Absolutdruck von 21 bar).

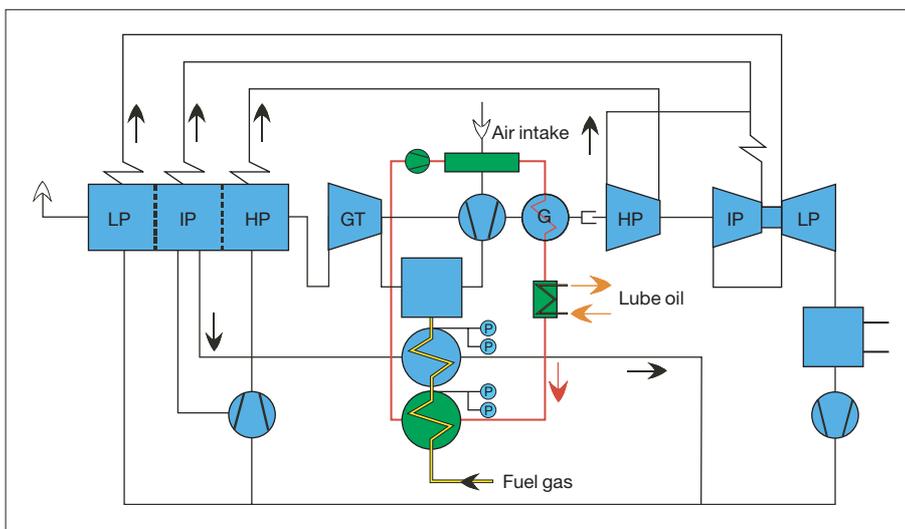


Bild 10. Einbindung der hybriden Verbrennungsluftkonditionierung in einen GuD-Prozess.

Durch die Brennstoffvorwärmung mit (Ab)wärme kommt es zu einer nicht unbedeutenden Brennstoffeinsparung: je 20 K Gasvorwärmung in Höhe von durchschnittlich rund 0,1 % für Erdgas nach DVGW G 260/I. Herkömmliche Heizkesselanlagen und Elektrovorwärmer können entfallen. Es bietet sich an, mit demselben Nutzen zusätzlich auch das Brenngas für Zusatzbrenner, Spitzenkessel usw. vorzuwärmen. Der Brennstoff kann so genutzt werden zur indirekten Ansaugluftkühlung – die natürliche Erdgaskälte ist die preiswerteste Kälteenergie überhaupt (Bild 9).

Im Hybridkühler erfolgt bei der Befeuchtung eine Vorfiltration der Ansaugluft – dadurch wird die Standzeit der nachgeordneten Luftfilterelemente wesentlich erhöht. Die Verbrennungsluftbefeuchtung führt auch zu einer Reduzierung der NO_x-Emissionen [1].

In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurden je nach Ausgangssituation Rückflusszeiten von etwa zwei Jahren bei der Nachrüstung eines Systems der hybriden Verbrennungsluftkonditionierung an bestehenden Gasturbinenanlagen ermittelt. Bei Neuanlagen sind im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen auch Einsparungen bei der Investition möglich. Hinzu kommen der bedeutende Nutzen und die gestiegene Leistungsvariabilität beim Betrieb der Anlage.

Das neue Verfahren der Verbrennungsluftkonditionierung ist somit ein wesentlicher Fortschritt im Gasturbinenbau (Bild 10). Durch Verwendung bewährter Standardelemente steht der breiten Anwendung nichts entgegen. Für das Verfahren der hybriden Verbrennungsluftkonditionierung wurde ein Schutzrecht beantragt. Die Komponenten zur hybriden Verbrennungsluftkonditionierung werden exklusiv von Thermo Integral angeboten.

Literatur

[1] Freimark, M.: NO_x-Reduzierung bei Großgasturbinen durch Verfeuerung einer Öl-Wasser-Emulsion. VGB Kraftwerkstechnik 70 (1990) H. 10, S. 869–875. □