

BW K

DAS ENERGIE-FACHMAGAZIN

Titelthema

Kraftwerk Mainz-Wiesbaden
setzt neue Maßstäbe im GuD-Prozess



Das Kraftwerk Mainz-Wiesbaden.

Neue Maßstäbe im GuD-Prozess

Kraftwerk Mainz-Wiesbaden erprobt neue Entwicklungen im realen Betrieb

Der Block 3 des Kraftwerks Mainz-Wiesbaden setzt neue Maßstäbe. Bereits bei seiner Inbetriebnahme im Frühjahr 2001 erreichte der Gas- und Dampfturbinenblock einen Nettowirkungsgrad von 58,4 %. Im laufenden Betrieb werden seitdem weitere Features zur Leistungs- und Wirkungsgradoptimierung erprobt – eine Win-Win-Situation für den Siemens-Bereich Power Generation und die Kraftwerke Mainz-Wiesbaden AG.

In Deutschland müssen bis 2020 rund 40 000 MW Kraftwerksleistung erneuert werden, in der erweiterten EU sind es sogar 200 000 MW allein als Ersatz für unwirtschaftliche oder ökologisch unzureichende Anlagen. Weitere 100 000 MW werden benötigt, um dem wachsenden Strombedarf innerhalb der Europäischen Union zu entsprechen.

Um Möglichkeiten und Perspektiven aufzuzeigen, hat die Energietechnische Gesellschaft (ETG) im Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik (VDE, Frankfurt am Main) eine Studie mit dem Titel „Elektrische Energieversorgung im Jahre 2020 – Perspektiven und Handlungsbedarf“ erstellt. Der wichtigste Abschnitt in dieser Untersuchung befasst sich mit drei unterschiedlichen Szenarien, die aufzeigen, welche Wege in Deutschland bis 2020 beschritten werden könnten.

Eine wichtige Komponente ist allen drei Szenarien gemeinsam: Der Anteil gasgefeuerter Kraftwerke wird deutlich steigen – je nach Projektion wird sich die Leistung aus Gas- und Dampfturbinen-Anlagen (GuD) mehr als verdreifachen oder sogar nahezu vervierfachen. Um es in konkreten Zahlen auszudrücken: In Szenario 1 wird der Anteil von GuD-An-

lagen am Energiemix von derzeit 18,5 GW auf 70 GW zunehmen, in Szenario 2 etwa 60 GW und in Szenario 3 circa 63 GW erreichen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der Leistungsfähigkeit von Gasturbinen bzw. von GuD-Prozessen noch nachdrücklicher.

Eine besonders gute Antwort gibt die Kraftwerke Mainz-Wiesbaden AG (KMW, Mainz): Seit vier Jahren ist ihr Block 3 Weltspitze beim Wirkungsgrad. Bemerkenswerte 58,4 % (netto) bei einem der wichtigsten Kriterien für einen wirtschaftlichen und umweltverträglichen Betrieb zugleich erreichte der Gas- und Dampfturbinenblock im Industriegebiet auf der Ingelheimer Aue schon bei seiner Inbetriebnahme. Die Anlage mit einer heutigen Leistung von 406 MW, im März 2001 auf der Halbinsel im Rhein eingeweiht, wurde vom Siemens-Bereich

Autor

Dipl.-Chem. Klaus Jopp, Jahrgang 1952, Studium der Chemie in Hamburg. Nach dem Abschluss Wissenschaftsredakteur, seit 1990 freier Journalist mit eigenem Pressebüro WiWiTech in Hamburg.

klaus.jopp@wiwitech.de

Power Generation (PG) schlüsselfertig errichtet. Durch die gleichzeitige Auskoppelung von Prozessdampf und Fernwärme resultiert ein Brennstoffnutzungsgrad zwischen 70 bis 80 % (abhängig von der Fernwärmeauskopplung). Gerade diese Kraft-Wärme-Kopplung führt zu einer erheblichen Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland, wie sie nach dem gerade in Kraft getretenen Kyoto-Abkommen zugesagt und vorgesehen sind. So werden durch das GuD-Kraftwerk allein 1,5 Mio. t CO₂ pro Jahr eingespart.

Das neue GuD-Kraftwerk ersetzt Kraftwerk 1 mit seinen ursprünglich vorhandenen drei Kohleblöcken von je 100 MW Leistung, die bereits 1958, 1963 und 1966 in Betrieb gegangen waren. Im Jahr 2000 wurden sie stillgelegt und bis zum Sommer 2003 abgebrochen. Damit entfallen im Übrigen auch die Schwefel-dioxid-Emissionen durch die Kohleverbrennung. Kraftwerk 3 besteht aus einer Gasturbine des Siemens Typs SGT5-4000F (früher als V94.3A bezeichnet), einem nachgeschalteten Abhitzedampferzeuger und einer dreigehäusigen Entnahme-Kondensationsdampfturbine. Die Gasturbine leistet 278 MW bei einer Feuerungswärmeleistung von 671 MW, die Dampfturbine steuert noch einmal 139 MW bei. Der Abhitzedampferzeuger ist vom Typ 3-Druck mit Zwischenüberhitzung. Der Frischdampfdruck beträgt 110 bar, die Frischdampf-temperatur 550 °C. Der Dampferzeuger liefert eine Dampfmenge von 278 t/h. Zur Nutzung von Prozessdampf für benachbarte Industriebetriebe können 40 t Dampf pro Stunde auf einem Druckniveau von 15 bar ausgekoppelt werden. Zudem kann Fernwärme bis zu 100 MW (th.) aus dem Dampfkreislauf abgezweigt werden. Für die Kühlung kommt Frischwasser zum Einsatz, das über ein neu gebautes Einlaufbauwerk dem Rhein entnommen wird.

Dampfeinspeisung aus dem benachbarten Müllheizkraftwerk

Eine Besonderheit am Standort Mainz-Wiesbaden ist die Einbeziehung des Müllheizkraftwerkes (MHKW), das zwischen 2001 und 2003 in unmittelbarer Nähe der GuD-Anlage errichtet wurde. Ein Großteil des hier produzierten Dampfes wird in das benachbarte Kraftwerk 3 eingespeist, wobei der Dampf dort ohne den Einsatz zusätzlicher Primärenergie auf 560 °C überhitzt und hocheffizient verstromt wird. Diese Anlagenkombination ist einmalig in Deutschland. Nach einer rund 24-mona-

tigen Bauzeit ist das MHKW seit Dezember 2003 im Regelbetrieb.

Die Gasturbine in Mainz weist eine weitere Besonderheit auf: Sie war die erste der neuen Gasturbinengeneration V94.3A, die sowohl für den Betrieb mit Gas als auch mit leichtem Heizöl ausgelegt wurde. In beiden Fällen werden die Vorgaben für die Stromerzeugung und die Emissionen sicher erfüllt. Der von Siemens garantierte Wert für die Stickoxid-Emissionen beträgt bei Gasfeuerung (Turbineneintrittstemperatur über 1 200 °C ISO) 50 mg/m³, die gemessenen Werte liegen darunter. Bei Ölbetrieb und Wasserinjektion werden weniger als 60 mg/m³ erreicht. Versuche im Kraftwerk haben nachgewiesen, dass der Heizöl/Wasseremulsions-Betrieb eher der Leistungssteigerung nutzt als der Emissionsreduktion. Voraussetzung für diese niedrigen Emissionen waren intensive Computerberechnungen der Strömungsdynamik und Testläufe an verschiedenen Versuchseinrichtungen. Auf diese Weise wurden der Strömungsfluss und das Mischungsverhältnis zwischen Gas und Verbrennungsluft optimiert. Ausgiebige Tests an den Niedrig- und Hochdruckbrennern und an der Versuchsanlage von Siemens in Berlin haben die Vorhersagen bestätigt.

Dank der intensiven Zusammenarbeit und des Vertrauensverhältnisses zwischen dem Kunden KMW und Siemens war es möglich, bereits im Jahr 2002 mit der Weiterentwicklung der Gasturbine zu beginnen. Ausgangspunkt dabei war die Ringbrennkammer mit 24 Hybrid-Brennern und keramischem Hitzeschild, eine vierstufige Turbine und moderne Kühlkonzepte. Als erste Maßnahme wurde der Massenstrom erhöht. Dazu mussten die ersten beiden Verdichterreihen sowie die verstellbaren Vorleitgitter modifiziert werden, indem die Anströmwinkel durch das Aufdrehen der Schaufeln optimiert wurden. Ebenso wurde die vierte Laufschaufelreihe der Turbine minimal angepasst. Insgesamt konnte eine Erhöhung des Massenstroms von etwa 3 % realisiert werden. Diese Lösung war so erfolgreich, dass Siemens PG inzwischen alle neuen Gasturbinen der V94.3A Reihe mit dieser neuen Technik ausrüstet. Bereits laufende Maschinen können nachgerüstet werden.

Der Energiemarkt erfordert eine hohe Betriebsflexibilität

Unter den Bedingungen liberalisierter Energiemärkte ist eine möglichst flexible Fahrweise von Kraftwerken erwünscht, um sich den jeweiligen Anfor-



Arbeiten am Lager einer SGT5-4000F-Gasturbine.

derungen des Marktes optimal anpassen zu können. Bisher waren Tieflasten im Kraftwerk Mainz-Wiesbaden von bis zu 65 % möglich. Durch einen reduzierten Massenstrom und ein Schließen der Verdichterleitreihe Null wurde es möglich, den Einsatzbereich der Anlage zwischen 50 bis 100 % Dauerbetrieb auszudehnen (vorher 65 bis 100 %). Weitere Tests haben ergeben, dass selbst dieser Wert nicht das „letzte Wort“ sein muss.

Eine weitere Möglichkeit zur Wirkungsgradverbesserung ist die Verringerung der Spaltverluste. Beim Anfahren der Turbine ist ein definierter Abstand zwischen Rotorschaukeln und Gehäuse grundsätzlich notwendig, um das unterschiedliche Ausdehnungsverhalten in der Startphase zu beherrschen. Sobald alle Komponenten auf Betriebstemperatur sind, lässt sich dieser Spalt verringern, indem ein hydraulisches System die gesamte Welle mit Läufer in Richtung Verdichter verschiebt. Dabei handelt es sich um eine axiale Verschiebung von etwa 3 mm, die durch hydraulische Stempel im Verdichterland bei einem Druck von 170 bar bewerkstelligt wird und den Spalt zwischen Schaufelspitzen und Gehäuse um etwa einen Millimeter verringert. Das System wurde weltweit erstmalig im Kraftwerk Mainz-Wiesbaden installiert, ist automatisiert und lässt nur zwei Stellungen zu. Es funktioniert nach dem Fail-Safe-Prinzip, das heißt, bei Unregelmäßigkeiten wird immer die sichere Position mit größerem Spalt eingenommen. Auch das hydraulische System zur Spaltminimierung lässt sich an bestehenden Turbinen nachrüsten.

Bessere Schutzvorkehrungen für die Brennkammer

Weitere Änderungen betreffen die Brennkammer. Hier wurden die Hitzeschildplatten sowohl von der Geometrie als auch vom Material her optimiert, um die Standzeiten und damit die Lebensdauer zu verlängern. Für die keramischen Steine wurde ein neues Herstellungsverfahren etabliert, zudem erfolgt die Sinterung bei höheren Temperaturen. Das Re-Design der keramischen Hitzeschilder erfolgte auch, um die Unterhaltungskosten zu verringern und die Ausfallrate zu minimieren.

Alle diese Optimierungen am Kraftwerk Mainz-Wiesbaden wurden zwischen 2002 und 2004 durchgeführt. Die Leistung der Gasturbine wurde um 8 MW gesteigert, ihr Wirkungsgrad verbesserte sich um 0,3 Prozentpunkte. Allerdings wird diese Verbesserung durch eine um etwa vier bis fünf Grad Kelvin geringere Abgastemperatur „erkauft“. Deshalb profitiert der gesamte GuD-Prozess je nach Kesselauslegung „nur“ um 0,1 bis 0,2 Prozentpunkte. Die Maßnahmen laufen bereits über 11 000 Betriebsstunden, mithin handelt es sich um erprobte Technik, die auch von der Versicherungswirtschaft anerkannt ist. Durch die Massenstromanhebung steigt die GuD-Leistung insgesamt um 11 bis 12 MW.

Hochgerechnet auf ein neues Kraftwerk (unter gleichen Randbedingungen wie Mainz-Wiesbaden) ergäbe sich durch die vielfältigen Verbesserungen am Kraftwerk Mainz-Wiesbaden ein Wirkungsgrad von etwa 58,6 % im GuD-Prozess. Weitere Features zur Leistungs- und Wirkungsgradoptimierung sind bereits auf den Weg gebracht. Für Siemens PG und den Kunden KMW hat die gewachsene intensive Kooperation eine Win-Win-Situation generiert: KMW verfügt über ein Kraftwerk, das auf dem modernsten Stand der Technik ist. Siemens hat die Chance, die iterativen Schritte zu immer neuen Entwicklungen im Kraftwerk im realen Betrieb zu erproben und zu bewerten.

Das Konzept der SGT5-4000F-Gasturbine beruht auf einer über 40-jährigen Erfahrung mit großen Aggregaten dieser Art. Seit der Markteinführung 1996 hat die Flotte, zu der neben der SGT5-4000F auch die drei kleineren Typen SGT6-4000F, SGT5-3000E und SGT-1000F (früher als V94.2A, V84.3A und V64.3A bezeichnet) gehören, zusammengerech-

net mit 120 Einheiten mehr als 2,7 Millionen äquivalente Betriebsstunden (EOH) erreicht. Rund 50 weitere Turbinen sind bereits bestellt, so dass die Flotte rasch weiter anwächst. Die statistischen Werte im Bereich Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit belegen die exzellenten Betriebserfahrungen mit diesen Gasturbinen. Sie werden über so genannte Gasturbine-Erfahrungs-Berichte erhoben, die Kunden monatlich auf Basis von Schlüsseldaten aus dem eigenen Kraftwerkseinsatz erstellen und an Siemens weiterleiten. Dadurch ist eine hohe Relevanz gegeben.

Die Zuverlässigkeit der SGT5-4000F hat seit fünf aufeinander folgenden Jahren ein Level von über 99 %. Im Vergleich mit anderen ausgereiften Turbinen wie der SGT5-2000E (frühere Bezeichnung V94.2), die in den frühen 80er Jahren eingeführt wurde, hat die SGT5-4000F nachgewiesen, dass sie alle Voraussetzungen für eine erprobte Technologie erfüllt. Auch die Verfügbarkeit kann sich sehen lassen: Sie erreicht typischerweise 94 bis 95 %, je nachdem wie viele Ma-

schinen in eine größere Revision gehen. Beide Angaben für Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sind keine Top-, sondern Durchschnittswerte. Das dürfte ebenso wie die bestmögliche Referenz durch das Kraftwerk Mainz-Wiesbaden ein gewichtiges Argument sein, wenn es um die Vergabe von neuen Kraftwerken in Deutschland und ganz Europa geht. Der erste Erfolg hat sich schon eingestellt. Erstmals nach langer Zeit in Deutschland erhielt Siemens Power Generation von der Trianel Power Kraftwerk Hamm-Uentrop GmbH & Co. KG, Aachen, einen Auftrag zum schlüsselfertigen Bau eines neuen GuD-Kraftwerks am Standort Hamm-Uentrop in Nordrhein-Westfalen. Die Anlage umfasst zwei baugleiche Blöcke mit einer elektrischen Leistung von jeweils rund 400 MW und soll bis Herbst 2007 auf dem Werksgelände der DuPont de Nemours (Deutschland) in Hamm-Uentrop entstehen. Das Investitionsvolumen beträgt 440 Mio. €, der elektrische Wirkungsgrad der Anlage soll circa 57,5 % erreichen.

In Mainz geht unterdessen die erprobte Zusammenarbeit zwischen KMW und Siemens Power Generation weiter. So wird derzeit gerade eine höhere Turbinen-Eintrittstemperatur erprobt. Der „Run“ auf weiter verbesserte Wirkungsgrade geht unverdrossen weiter.



Titelbild

52 Das Kraftwerk Mainz-Wiesbaden ist die derzeit innovativste Combined-Cycle-Anlage weltweit. Sie hat einen Wirkungsgrad von über 58,4 Prozent.

Wenn zusätzlich Prozessdampf und Fernwärme ausgekoppelt wird, steigt der Brennstoffnutzungsgrad auf rund 80 Prozent. Durch hocheffiziente Technik trägt die 400-Megawatt-Anlage erheblich zur Reduktion der CO₂-Emission in Deutschland bei. Betrieben wird die Anlage von der Kraftwerke Mainz-Wiesbaden AG. Das Bild zeigt den Läufer einer SGT5-4000F Gasturbine (früher V94.3A) während der Montage im Kraftwerk.



Bild: Siemens Power Generation