

GAS-KOMBIKRAFTWERKE WIE FUNKTIONIERTS?



NETWORKING ENERGIES

Ein Unternehmen der  axpo

INHALT

	Auf einen Blick	05
1.	Wie funktioniert ein Gas-Kombikraftwerk?	06
1.1	Das Gas-Kombikraftwerk im Modell betrachtet	07
1.2	Die Gasturbine: Das Herz des Kraftwerks	08
1.3	Der Wasserdampfkreislauf: Mehr als heiße Luft	09
1.4	Das Hochspannungs-System	11
1.5	Der Leitstand: Kontrolle und Sicherheit	11
2.	Was spricht für ein Gas-Kombikraftwerk?	12
2.1	Die Frage nach der Effizienz	12
2.2	Kostenpunkte	13
2.3	Die moderne Verbrennungstechnik: ein Plus	13
3.	Die EGL Projekte in Italien (Beilageblätter)	15



1

AUF EINEN BLICK

Ein Gas-Kombikraftwerk, auch Gas- und Dampfturbinenkraftwerk (GuD) genannt, verbindet die Stärken zweier thermischer Prozesse in idealer Weise: die Stromerzeugung mittels einer Gasturbine kombiniert mit einer Dampfturbine. Im Englischen ist das Kürzel **CCGT** üblich, das für «**C**ombined **C**ycle **G**as **T**urbine **P**ower **P**lant» steht.

Rund zwei Drittel der gesamten elektrischen Kraftwerksleistung produziert die Gasturbine. Ähnlich wie bei einem Flugzeugtriebwerk wird ein Gemisch aus komprimierter Luft und Brennstoff verbrannt. Die dabei entstehenden Heissgase treiben die Turbine und damit den an sie gekoppelten Generator an.

Die restliche elektrische Kraftwerksleistung, rund ein Drittel, produziert die Dampfturbine aus den heissen Abgasen der Gasturbine. Im Abhitze-Dampfkessel geben die Abgase ihre Wärme an zirkulierendes Wasser ab: Das unter Druck stehende Wasser verdampft, wodurch die Temperatur im System ansteigt. Der Dampf treibt die Dampfturbine und damit den an sie gekoppelten Generator an.

Gas-Kombikraftwerke sind technologisch hoch entwickelt und auf der ganzen Welt im Einsatz. Im Vergleich zu anderen Kraftwerkstypen haben sie einen hohen Wirkungsgrad: Die modernen EGL Anlagen in Italien erreichen etwa 56 Prozent, das heisst, die in Form von Brennstoff zugeführte Energie wird technisch optimal in Strom umgewandelt.

Die Investitionskosten sind vergleichsweise tief, weil die Hauptkomponenten weitgehend standardisiert sind. Die sehr leistungsstarke Gasturbine ermöglicht eine kompakte Bauweise des Kraftwerks, was die Bauzeit minimiert: Diese beträgt nur etwa zwei einhalb Jahre.

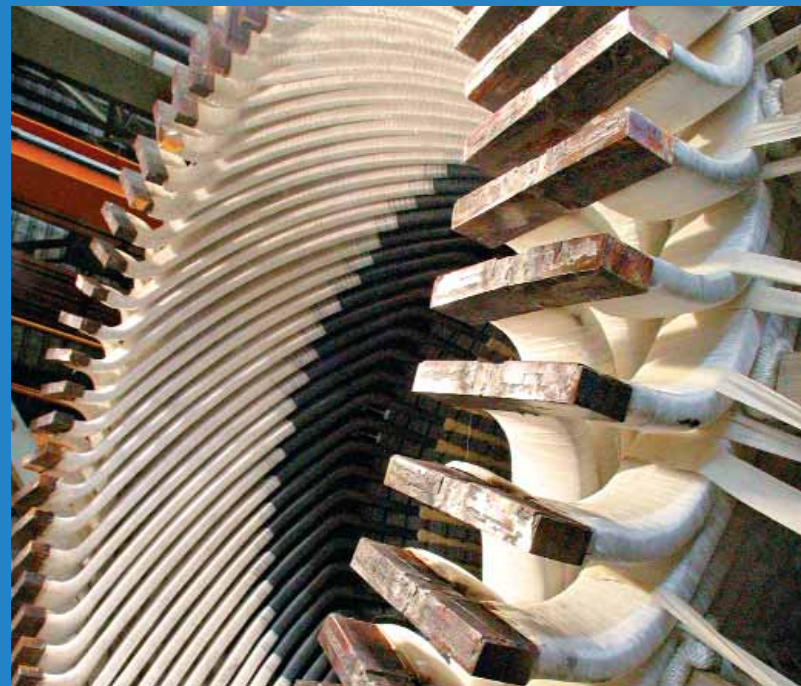
Gas-Kombianlagen werden häufig modularartig aus mehreren Blöcken zusammengesetzt. Jeder Block ist praktisch ein in sich abgeschlossenes Kraftwerk, das unabhängig betrieben werden kann. Die standardisierten EGL Kraftwerke haben je zwei Blöcke, die zusammen rund 760 Megawatt erbringen. Ein solches Kraftwerk könnte etwa zehn Prozent des Schweizer Jahresbedarfs an Energie decken.

Mit moderner Verbrennungstechnik kann der Ausstoss von schädlichen Abgasen kontrolliert und minimiert werden. Im Vergleich zu allen anderen konventionell-thermischen Anlagen, wie beispielsweise Kohlekraftwerken, sind die Kohlendioxid- und Stickoxid-Emissionen bei der Befuerung mit Erdgas am geringsten.

1. WIE FUNKTIONIERT EIN GAS-KOMBIKRAFTWERK?



1



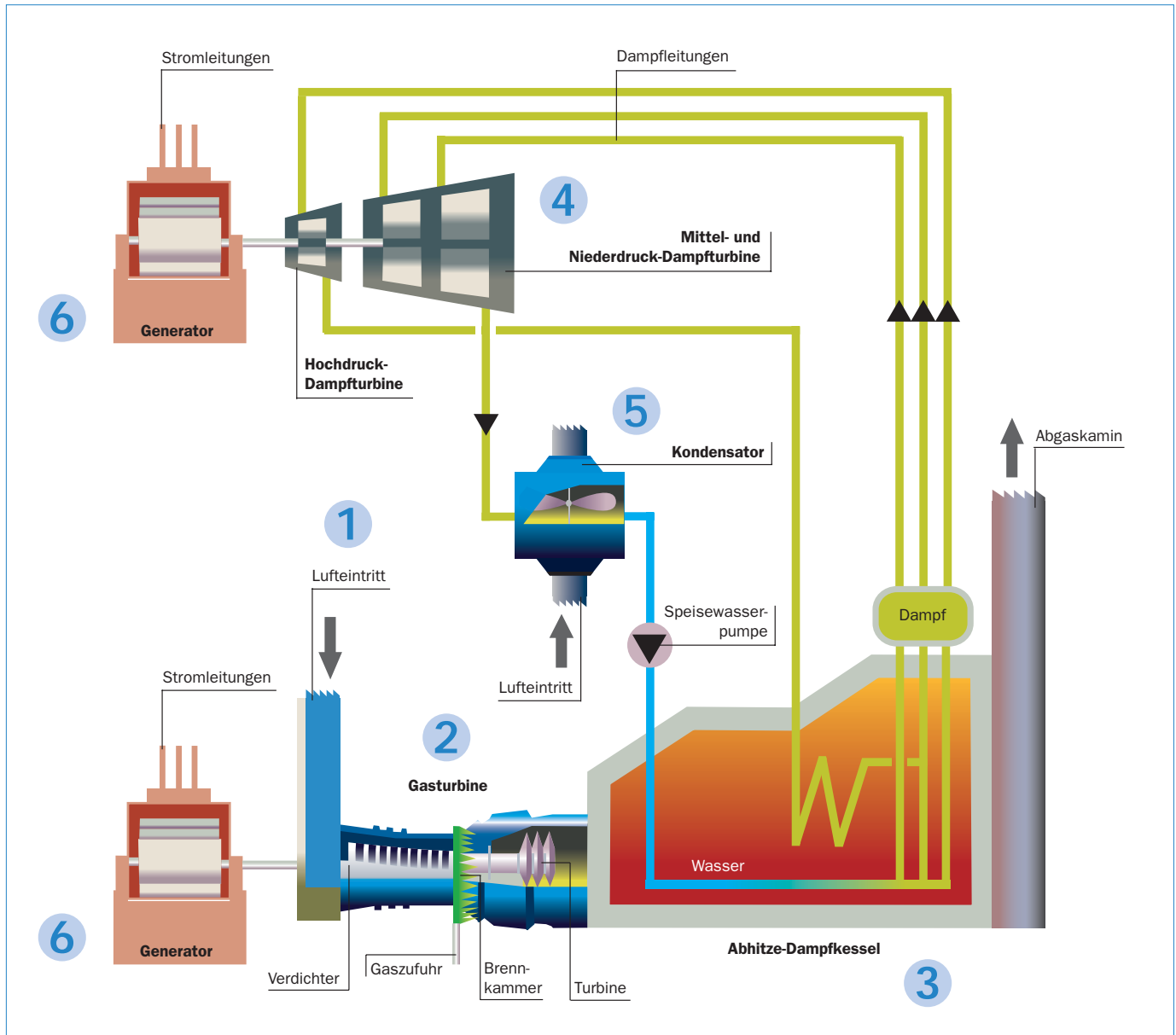
2

Das Gas-Kombikraftwerk verbindet zwei thermische Prozesse so ideal, dass daraus eine technisch optimale Stromerzeugung resultiert. Rund zwei Drittel des Stroms produziert die Gasturbinen- und das restliche Drittel die daran gekoppelte Dampfturbinenanlage. Angetrieben durch die expandierenden Brenngase (Gasturbine) beziehungsweise den Dampf (Dampfturbine) entsteht in beiden Turbinen eine mechanische Drehbewegung, welche die Generatoren dann in elektrische Energie umwandeln.

Die EGL Kraftwerke sind als Mehrwellenanlagen konzipiert. Das bedeutet, dass beide Turbinen an je einen eigenen Generator gekoppelt sind. – Dies im Unterschied zu einer Einwellenanlage, bei der beide Turbinen den gleichen Generator antreiben. – Die EGL Kraftwerke in Italien bestehen aus je zwei Blöcken und haben somit je vier Kraft- (zwei Gas- und zwei Dampfturbinen) und vier Arbeitsmaschinen (Generatoren).

1. WIE FUNKTIONIERT EIN GAS-KOMBIKRAFTWERK?

1.1 Das Gas-Kombikraftwerk im Modell betrachtet

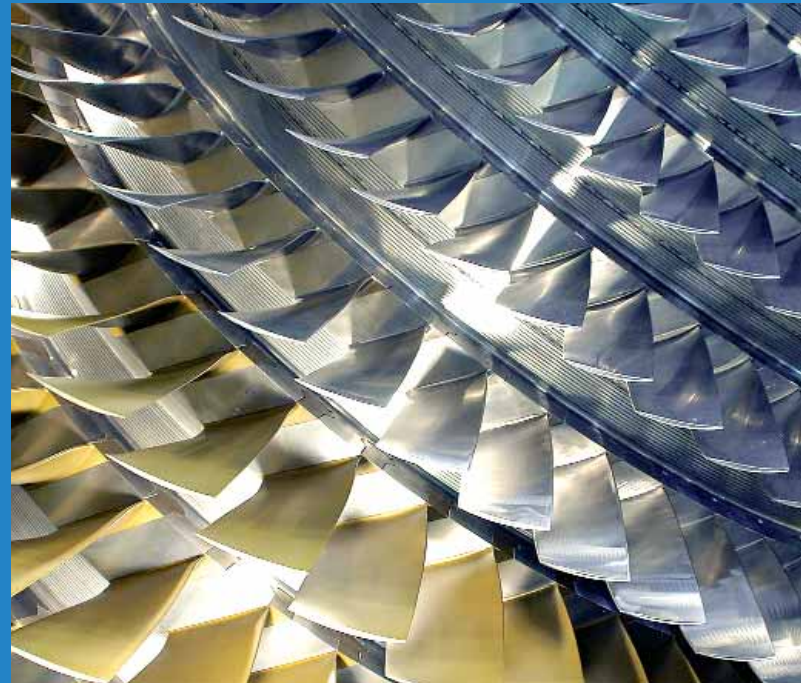


1. Umgebungsluft wird über einen Filter angesaugt und im Verdichter komprimiert. **2. Gasturbine:** Luft wird verdichtet, Erdgas wird beigemischt. Es findet eine Verbrennung statt, bei der heisse, hochgespannte Gase entstehen. Die Turbine treibt den Generator und den Verdichter an. **3. Abhitze-Dampfkessel:** Mit den heissen Abgasen aus der Gasturbine wird Wasser verdampft. **4. Dampfturbine:** Der Dampf treibt die Turbine an. Die dabei entstehende mechanische Energie wird an den Generator übertragen. **5. Kondensator:** Hier wird der Abdampf aus der Dampfturbine mittels Luftkühlung wieder in Wasser zurückverwandelt. **6. Generatoren:** Hier wird die mechanische Energie aus den Turbinen in elektrischen Strom umgewandelt.

1. WIE FUNKTIONIERT EIN GAS-KOMBIKRAFTWERK?



1



2

1.2 Die Gasturbine: Das Herz des Kraftwerks

Die Gasturbine ist die erste Prozessstufe der Stromproduktion. Über einen Filter saugt der Verdichter der Gasturbine Luft aus der Umgebung an (1. im Modell). Diese wird im Verdichter komprimiert (2. im Modell), das heisst auf höheren Druck gebracht, und in die Brennkammer geleitet. Hier wird der Brennstoff in Form von Erdgas zugeführt und verbrannt. Dabei entstehen Heissgase, die in der Turbine entspannt, das heisst beinahe auf Umgebungsdruck gebracht werden. Das Gas dehnt sich aus, es expandiert. Die so frei werdende Energie wird in eine mechanische Drehbewegung umgewandelt. Ähnlich wie bei einem Spielzeugballon, wenn die Luft ausströmt: Der Druckausgleich (Expansion) sorgt hier ebenfalls für die Bewegung, für das «Lossausen» des Ballons. Die mechanische Drehbewegung treibt den Verdichter und den Generator an. Der Generator wandelt diese Energie in elektrischen Strom um.

Wenn das Heissgas als Abgas die Turbine verlässt, hat es eine Temperatur von rund 600 °C. Diese Wärmeenergie überträgt es dann im Abhitze-Dampfkessel auf Wasser. Hier beginnt die zweite Stufe der Stromerzeugung: der Wasserdampfkreislauf. Das unter Druck stehende Wasser wird erhitzt und verdampft.

Mit der Gasturbine betrachten wir das Herz des Kraftwerks. Sie produziert nicht nur zwei Drittel des Stroms, sie gibt dem Kraftwerk auch seinen Namen. Denkbar

wäre ebenso Dieselöl als Brennstoff. Darauf sind die EGL Anlagen in Italien jedoch nicht ausgelegt. Erdgas hat gegenüber Dieselöl die tieferen Abgasemissionen. Darüber hinaus ist der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand bei Turbinen, die mit Erdgas betrieben werden, in der Regel geringer. Eine Generalüberholung, bei der hoch beanspruchte Teile ausgetauscht werden müssen, ist im Schnitt nur alle drei Jahre nötig. Bei solchen Revisionen zahlt es sich aus, wenn ein Kraftwerk über mehr als einen Block verfügt: Ein Teil der Anlage kann normal Strom produzieren, auch wenn der andere in Revision ist und damit für eine gewisse Zeit ausser Betrieb.

In allen EGL Kraftwerken kommen Gasturbinen vom Typ V94.3A2 zum Einsatz. Die italienische Firma Ansaldo baut sie unter einer Lizenz von Siemens. Die Turbine wiegt etwa 300 Tonnen und erbringt eine elektrische Nennleistung von 260 Megawatt. Im Vergleich: Etwa 3500 VW Golf zusammen wären nötig, um diese Leistung zu erbringen.

1.3 Der Wasserdampfkreislauf: Mehr als heisse Luft

Ein Drittel der elektrischen Gesamtleistung stammt von der [Dampfturbine \(4. im Modell\)](#). Der Wasserdampfkreislauf nutzt die Wärmeenergie der Abgase, die im Gasturbinenprozess sonst ungenutzt als Abfall verloren ginge.

Mit dieser Wärme wird Wasserdampf erzeugt, der mittels einer Dampfturbine Strom produziert. Der Wasserdampfkreislauf ist geschlossen, das heisst, immer das gleiche Wasser wird erhitzt, verdampft und anschliessend im Kondensator wieder in Wasser verwandelt.

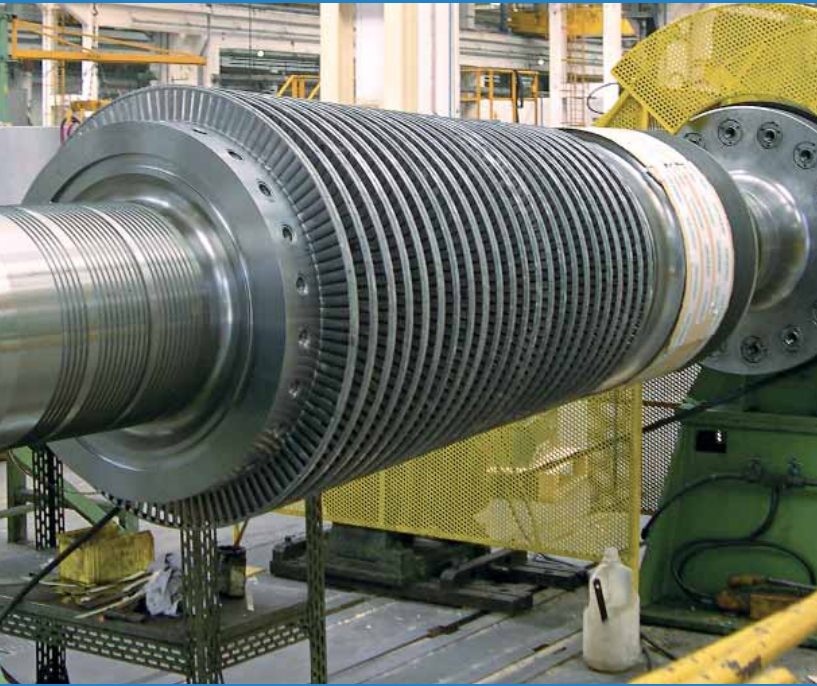
Der [Abhitze-Dampfkessel \(3. im Modell\)](#) ist ein grosses und komplexes Gebilde aus Rohrbündeln und Trommeln. Er hat drei Bereiche, in denen je ein anderer Druck herrscht: eine Hoch-, eine Mittel- und eine Niederdruckstufe. Die Aufteilung in diese drei Stufen ermöglicht eine sehr gute Ausnutzung der im Abgas enthaltenen Energie.

Bei allen EGL Kraftwerken ist der Kessel etwa 45 Meter hoch und 17 Meter breit.

Die [Dampfturbine \(4. im Modell\)](#) ist, wie der Kessel, in eine Hoch-, eine Mittel- und eine Niederdruckstufe aufgeteilt. Der jeweilige Bereich des Dampfkessels versorgt die Dampfturbine mit dem richtigen Dampf. Dieser wird in der Turbine entspannt, das heisst, er gibt Druck ab. Die Turbine wandelt diese Energie des Dampfes in eine mechanische Drehbewegung um, die dann auf den Generator übertragen wird. Dort wird sie zu elektrischem Strom.

Die Dampfturbinen für alle EGL Kraftwerke in Italien baut Ansaldo unter einer Lizenz von BBC (ABB). Die Nennleistung am Generator beträgt 132 Megawatt. Stellt man diese Leistung wiederum in Vergleich zu einem VW Golf, so wären weitere 1800 Fahrzeuge nötig, um sie zu erbringen.

1. WIE FUNKTIONIERT EIN GAS-KOMBIKRAFTWERK?



1



2

Der **Kondensator** (5. im Modell) ist wegen seiner Grösse die markanteste Kraftwerkskomponente. Der Dampf verlässt die Turbine unter Vakuum, also im Unterdruck. Er strömt über Leitungen, die einen Durchmesser von einigen Metern haben, in den luftgekühlten Kondensator. Hier führen grosse Ventilatoren Umgebungsluft zu, die den Dampf so weit abkühlt, dass er wieder zu Wasser wird: Er wird kondensiert. Die Speisewasserpumpe führt dieses so genannte Kondensat wieder dem Kessel zu. Damit beginnt der Kreislauf von neuem.

1.4 Das Hochspannungs-System

Der in der Anlage erzeugte Wechselstrom lässt sich nicht speichern. Die Kraftwerke benötigen also ein elektrisches System, das den produzierten Strom zuverlässig abführt und zu den Verbrauchern bringt. Kraftwerkseigene Transformatoren wandeln den produzierten Strom so um, dass er direkt in das Höchstspannungsnetz eingespeist werden kann. Im Fall eines Unterbruchs zum Höchstspannungsnetz fährt die Anlage automatisch in einen sicheren Zustand. Sobald das Stromnetz wieder verfügbar und der entsprechende Bedarf vorhanden ist, geht das Kraftwerk automatisch wieder ans Netz und liefert die nötige Leistung.

1.5 Der Leitstand: Kontrolle und Sicherheit

Das Leitsystem im zentralen Kontrollraum der Anlage steuert, regelt und kontrolliert alle Prozesse und Vorgänge im Kraftwerk. Es zeichnet alle wichtigen Abläufe und Prozessgrössen auf und unterstützt den menschlichen Eingriff. Darüber hinaus kann es selbsttätig Vergleiche zwischen Soll- und Ist-Zuständen ziehen und darauf reagieren. Ebenso leiten die ständigen Rückmeldungen der vielen Sensoren im Kraftwerk automatische Reaktionen ein.

Normalerweise erfolgen alle Abläufe vom Anfahren über den normalen Betrieb bis hin zum Abstellen des Kraftwerks vollständig automatisch. Falls erforderlich, kann das Betriebspersonal gezielt eingreifen und Optimierungen vornehmen.

Das System sammelt und speichert eine Vielzahl von Betriebsdaten, die für spezifische Auswertungen wichtig sind. Die historische Datenaufzeichnung ermöglicht zudem die genaue Bestimmung der Wartungs- und Inspektionstermine.

2. WAS SPRICHT FÜR EIN GAS-KOMBIKRAFTWERK?



1



2

2.1 Die Frage nach der Effizienz

Die **Verfügbarkeit** einer Anlage ist das A und O für ihre Wirtschaftlichkeit: In welchem Mass ist das Kraftwerk nach Abzug der geplanten und ungeplanten Stillstandzeiten betriebsbereit? Gas-Kombikraftwerke können bei guter Wartung sehr hohe Werte von über 95 Prozent erreichen. Sie sind durchschnittlich also etwa 345 Tage im Jahr am Netz.

Im Vergleich zu anderen Kraftwerksarten zeichnen sich Gas-Kombikraftwerke durch ihren hohen **Wirkungsgrad** aus. Sie wandeln die in Form von Erdgas zugeführte Energie mit dem technisch kleinstmöglichen Verlust in Strom um. Ein Verlust kann nicht völlig vermieden werden, da durch Reibung und Wärmeübertragung immer Energie verloren geht. Die Gasturbine erreicht einen Wirkungsgrad von etwa 35 Prozent. Der daran gekoppelte Wasserdampfkreislauf steigert nun den Wirkungsgrad für die Gesamtanlage wesentlich, indem er nämlich die Wärmeenergie aus den Abgasen der Gasturbine zur Dampfproduktion und damit zur Stromerzeugung nutzt.

Auf diese Weise erreichen die EGL Anlagen in Italien sehr gute Werte von etwa 56 Prozent. Kohlekraftwerke liegen in der Regel zehn bis 15 Prozentpunkte tiefer. Die Luftkühlung bewirkt zwar einen leicht tieferen Anlagenwirkungsgrad im Vergleich zur Kühlung mit Wasser, sie bietet jedoch die grössere Unabhängigkeit beim Betrieb der Anlage und schont die natürlichen Wasserressourcen.

Aber nicht nur die Eigenschaften der Anlage an sich sind ausschlaggebend für ihre Wirtschaftlichkeit. Auch der jeweilige **Standort** und der professionelle Betrieb sind entscheidend.

2. WAS SPRICHT FÜR EIN GAS-KOMBIKRAFTWERK?

Bei der Standortwahl ist die Nähe zu einer Höchstspannungsleitung (380 Kilovolt) wichtig. Durch kurze Distanzen können Übertragungsverluste begrenzt werden. Darüber hinaus ist entscheidend, dass die Leistungskapazitäten zu den Verbraucherzentren ausreichend sind. Ebenso wie die Anbindung an das Höchstspannungsnetz ist die Verbindung zur Erdgasversorgung sehr wichtig. Die Kraftwerke sind also dann optimal platziert, wenn die Nähe zum Höchstspannungsnetz und zur Ergas-Pipeline gegeben ist.

Gut ausgebildetes und erfahrenes **Personal** ist die grundlegende Voraussetzung für den zuverlässigen Betrieb eines Kraftwerks. Darauf legt die EGL grossen Wert: Sie rekrutiert ihre Mitarbeitenden frühzeitig und bildet sie ständig für ihre speziellen Aufgaben weiter. Die für den Betrieb vor Ort verantwortlichen EGL Mitarbeitenden stellen die Verfügbarkeit der Anlage sicher. Über den Einsatz des Kraftwerks und die Produktionsmengen entscheiden die EGL Spezialisten am Hauptsitz.

2.2 Kostenpunkte

Die **Investitionskosten** für eine Gas-Kombianlage sind tiefer als bei Kohlekraftwerken und anderen konventionell-thermischen Anlagen. Sie liegen bei etwa 0,6 Millionen Euro pro Megawatt installierter Leistung, während man zum Beispiel für Kohlekraftwerke mit dem Doppelten rechnen muss. Die Gründe dafür sind die weitgehend standardisierten Hauptkomponenten dieses Kraftwerkstyps und die kurze Bauzeit von nur rund zweieinhalb Jahren. Je nach Ausführung der Anlage ist es sogar möglich, zuerst nur mit der Gasturbine in Betrieb zu gehen und parallel

dazu den Wasserdampfkreislauf fertig zu bauen. So hat der Investor früher Einkünfte aus dem Stromverkauf und damit eine bessere Rendite. Ein Gas-Kombikraftwerk hat eine Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren und ist damit mit anderen Kraftwerkstypen vergleichbar.

Die **Produktionskosten** für Strom, gemessen in Euro pro Megawattstunde, hängen sehr stark von den Brennstoffkosten ab. Bei den aktuellen Erdgaspreisen (Stand Herbst 2006) kann deren Anteil bis zu 70 Prozent ausmachen. Diese starke Abhängigkeit legt nahe, Gas-Kombikraftwerke als Mittellastkraftwerke einzusetzen: Das bedeutet, dass sie ihre Flexibilität nutzen und nur bei attraktiven Strommarktpreisen in Betrieb sind.

Die bei allen EGL Kraftwerken gewählte Blockgrösse von je 380 Megawatt gewährleistet – gemessen an den Produktionskosten – attraktive Skalenvorteile. Kleinere Einheiten erfordern mehr spezifischen Investitionsaufwand und ergeben damit weniger Profit.

2.3 Die moderne Verbrennungstechnik: ein Plus

Gas-Kombikraftwerke stossen Treibhausgase aus. Im Vergleich zu allen anderen fossil-thermischen Anlagen, das sind alle mit Verbrennungsprozessen, ist der Ausstoss von Kohlendioxid und Stickoxiden (NOx) am geringsten, wenn die Anlage mit Ergas betrieben wird. Kohlekraftwerke haben beispielsweise etwa doppelt so hohe Werte. Erdgas gilt als verhältnismässig sauberer Brennstoff. Durch die kontinuierliche Überwachung der Verbrennung können zudem die Emissionen kontrolliert und minimiert werden.

Redaktion/Kontakt:

EGL Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG

Corporate Communications

Lerzenstrasse 10

CH-8953 Dietikon

Tel. +41 44 749 41 41

media@egl.ch

Fotos: EGL

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion

www.egl.ch

