Gaskombikraftwerke versus Wärmekraftkopplungsanlagen

Autor(en): **Ganz, Jochen / Weiler, Walter / Stahl, Stefan**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft 4

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857285

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Gaskombikraftwerke versus Wärmekraftkopplungsanlagen

Vergleich zweier kurzfristig realisierbarer Optionen für die Stromproduktion in der Schweiz

Eine aktuelle Studie stellt einander die zwei Möglichkeiten der Stromgewinnung aus Erdgas – Wärmekraftkopplung und Gas-und-Dampf-Kraftwerke – gegenüber. Verglichen wird in Bezug auf Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit und Schadstoffemissionen.

Jochen Ganz, Walter Weiler, Stefan Stahl

In der gegenwärtigen Diskussion über die künftige Stromversorgung geniesst die gasbefeuerte Wärmekraftkopplung (WKK) politisch wachsende Akzeptanz. Eine wichtige Rahmenbedingung ist dabei die Auflage, dass neue Kraftwerke kein zusätzliches CO_2 emittieren dürfen, respektive eine solche Emission vollständig kompensiert werden muss (davon 50 – 70 % in der Schweiz).

Nachfolgend wird eine Studie des Beratungsunternehmens Awtec vorgestellt, welche die WKK-Strategie des Bundesamtes für Energie vom Juni 2011 [1] mit einer Alternativstrategie von grossen Gas- und Dampf-Kraftwerken (GuD) vergleicht. Die Studie geht davon aus, dass kein zusätzliches CO_2 emittiert werden soll, das heisst, dass die CO_2-Kompensation zu 100 % in der Schweiz stattfindet. Die fossile Primärenergie, die heute in Öl- oder Gas-Kesseln zur Wärmeproduktion verbraucht wird, soll neu über Gas-und-Dampf-Kraftwerke oder WKK-Anlagen in Strom respektive Wärme und Strom umgewandelt werden. Der angenommen gleichbleibende Wärmebedarf wird, sofern er nicht mit der Abwärme (WKK) gedeckt werden kann, mit Wärmepumpen produziert. Im Vergleich zum Verbrennen von Öl und Gas im Heizkessel bleibt durch die höhere Effizienz der gesamten Energienutzungskette ein Teil zusätzlicher Strom übrig, der als Beitrag zur Deckung der Stromlücke verwendet werden kann.

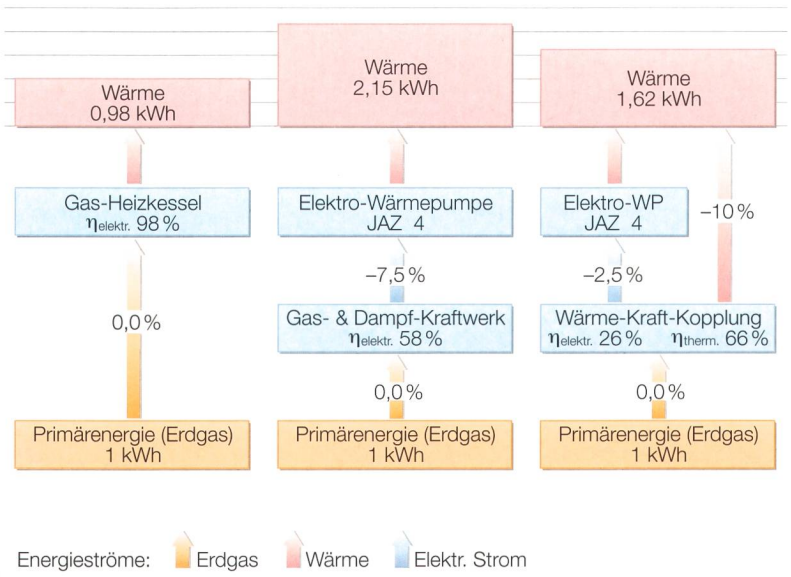


Bild 1 Basismodell reine Wärmenutzung. Der gesamte gewonnene Strom wird mittels Wärmepumpen in Wärme umgewandelt.

Modellannahmen

Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Bei jeder Technologie wird «best practice» angenommen, das heisst der neuste Stand der Technik wird optimal eingesetzt.
- Für den Wärmekraftkopplungs-Ansatz wird auf die WKK-Strategie des Bundesamtes für Energie vom Juni 2011 abgestützt.
- Bei den Emissionen wird davon ausgegangen, dass die Grenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) den tatsächlichen Emissionen entsprechen.
- Die Abwärme wird beim GuD nicht genutzt.

Modell der reinen Wärmenutzung

Da sich die verschiedenen Nutzenergieformen wie Strom und Wärme nicht direkt miteinander vergleichen lassen, wird ein Modell der vollständigen Wärmenutzung verwendet: Der gesamte in GuD und WKK erzeugte Strom wird über Wärmepumpen in Nutzwärme umgewandelt. Mit elektrisch betriebenen Wärmepumpen ist es heute möglich, im Mittel über die Heizperiode mit 1 kWh Strom 4 kWh Wärme für die Raumheizung zu gewinnen, dabei werden die zusätzlichen 3 kWh aus der Umgebungswärme gewonnen. Entsprechend spricht man von einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4.

Aus **Bild 1** wird die höhere Effizienz der Nutzung des Erdgases über eine WKK-Anlage oder ein GuD unter Einsatz von Wärmepumpen ersichtlich. Aus 1 kWh Erdgas lässt sich so im Falle der WKK 1,62 kWh Wärme und des GuD 2,15 kWh Wärme gewinnen.

Schadstoffemissionen

In **Bild 2** werden Schadstoffemissionen der verschiedenen Systemkombinationen bezüglich der Nutzwärme bei reiner Wärmenutzung verglichen. Augenfällig ist, dass die Gas-WKK immer grössere Emissionen aufweisen als die entsprechende GuD-Variante. Der Grund dafür ist einerseits die höhere Effizienz der Nutzungs-

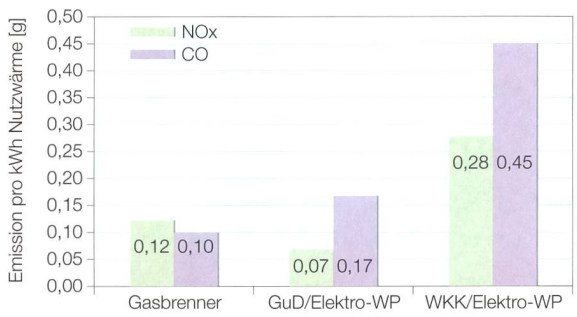


Bild 2 CO- und NOx-Emission pro kWh Nutzwärme (reine Wärmenutzung).

kette (**Bild 1**), andererseits haben WKK-Anlagen Emissionsgrenzwerte, die um den Faktor 5 bis 8 über denjenigen des GuD liegen.

Modell konstante Wärme und zusätzlicher Strom

Da in den heutigen Energieszenarien nicht von einem erhöhten Wärmebedarf ausgegangen wird, bietet sich ein Modell an, bei dem Wärme und Strom erzeugt wird: Mit einer gegebenen Menge Primärenergie respektive gegebenen CO_2-Emissionen wird im Gasheizkessel eine bestimmte Nutzwärmemenge erzeugt. Wenn die gleiche Nutzwärme jedoch via GuD/Wärmepumpen oder WKK/Wärmepumpe erzeugt wird, bleibt zusätzlicher Strom übrig, der zur Schliessung der Stromlücke verwendet werden kann. Da dieses Modell eher den realen Einsatz widerspiegelt, wird es auch für die unten folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verwendet.

Die bereits in **Bild 1** ersichtliche, höhere Effizienz der GuD-Strategie im Vergleich zur WKK-Strategie wird in **Bild 3** noch deutlicher: Die GuD-Strategie erzeugt im Vergleich zur WKK-Strategie bei demselben Primärenergieeinsatz die doppelte Menge an frei verfügbarem Strom.

Theoretisches Potenzial für die Schweiz

Was ist das theoretische Potenzial an zusätzlichem Strom, wenn die GuD-Strategie maximal umgesetzt wird und den gesamten Wärmebedarf mittels Wärmepumpen deckt? Es wird ein Modell betrachtet, bei dem der gesamte Gasverbrauch von 32,1 TWh und der gesamte Erdölbrennstoffverbrauch von jährlich 55,4 TWh für die Wärmeproduktion in der Schweiz [2] in GuD-Kraftwerken verstromt wird. Es wird weiter angenommen, dass die Erdölbrennstoffe mit Erdgas bei konstantem CO_2-Ausstoss (total 106,4 TWh Gas als Primärenergiequelle) ersetzt werden und dass Wärmepumpen gebietsunabhängig eingesetzt werden können.

Daraus lässt sich ein Gesamtpotenzial von jährlich 33,5 TWh zusätzlichem Strom berechnen. Dies ist deutlich mehr als die 25–26 TWh, welche die Schweizer Kernkraftwerke pro Jahr aktuell produzieren. [3] Berücksichtigt man, dass zudem wirtschaftlich realistische Wärmedämmmassnahmen an bestehenden Gebäuden realisiert werden, so steigt das Stromproduktions-Potenzial einer CO_2-neutralen GuD-Strategie weiter.

Wirtschaftlichkeit

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden Kapital, Betriebs- und Brennstoffkosten des GuD respektive der WKK-Anlage berücksichtigt. Ein wichtiger Kostenblock bei beiden Strategien sind die Brennstoffkosten. Ein GuD wird immer direkt am Hochdrucknetz betrieben. Die wärmegeführte WKK-Anlage muss dezentral betrieben werden und wird am weitverzweigten Niederdrucknetz betrieben. Daher wurde ein höherer Gaspreis angenommen. Nicht berücksichtigt sind CO_2-Kompensationszahlungen, da die Strategien bereits in sich CO_2-neutral angelegt sind. Weitere wichtige Parameter sind der Wärmeertrag und der Marktwert des erzeugten Stroms. Alle Parameter unterliegen Unsicherheiten und sind abhängig von bestimmten Annahmen.

Unter den meisten Rahmenbedingungen dürfte der im GuD produzierte Strom immer günstiger sein als jener aus der WKK-Anlage. Ursache hierfür sind die massiv höheren spezifischen Investitionskosten, höheren Gaspreise und einer schlechteren Gesamteffizienz (über die gesamte Energienutzungskette) der WKK-Anlagen gegenüber dem GuD. Mit einer WKK-Anlage muss ein kommunales Gasnetz und meist noch ein Nahwärmeverbund mitfinanziert werden. Die Details können der Studie entnommen werden (siehe Link am Ende des Artikels).

Schlussfolgerung

Die Energieeffizienz der Wärmeproduktion kann signifikant gesteigert werden, wenn die Primärenergie statt im Erdöl- oder Gaskessel in WKK-Anlagen oder GuD-Kraftwerken verbrannt wird. Die GuD-Strategie ist gegenüber der WKK-Strategie bezüglich Effizienz um 33 %, bezüglich zusätzlichem Strom um

Haltung des VSE

Gleiche lange Spiesse für beide Anlagentypen

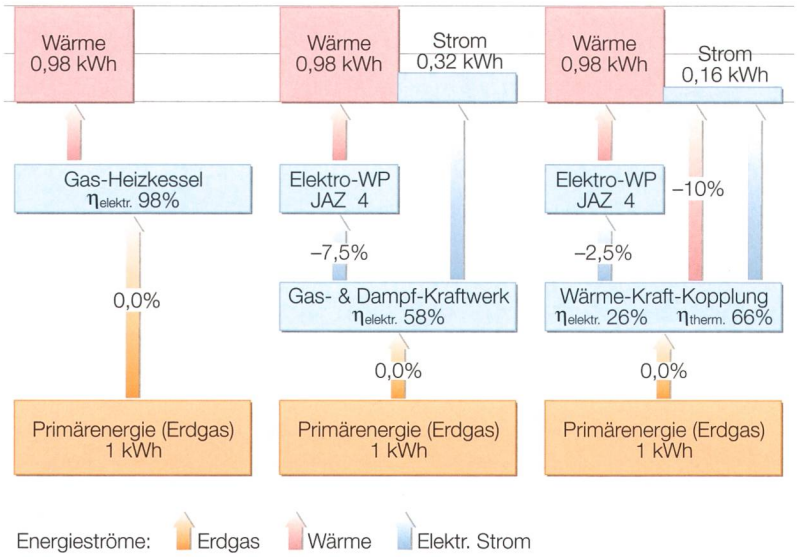
Bei der Stromerzeugung aus Erdgas vertritt der VSE die folgende Position: Gaskombikraftwerke und Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen werden künftig neben erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle zur Deckung von Produktionslücken spielen, vor allem im Winterhalbjahr und bei täglichen Bedarfsspitzen. Zur Förderung von Investitionen sind die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen zu schaffen. Diesbezüglich müssen für beide Anlagentypen gleich lange Spiesse gelten, namentlich betreffend CO_2-Regulierung, Investitionsbeihilfen und Stromeinspeisung. Die Wahl des Anlagetyps obliegt letztlich dem Investor. Weiter braucht es stabile und planbare politische und regulatorische Rahmenbedingungen, die zu den Zielen der neu ausgerichteten Energiestrategie und der Klimapolitik nicht im Widerspruch stehen. Gaskombikraftwerke und Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen verfügen beide über Vor- und Nachteile. Zudem ist zu beachten, in welchem Systemzusammenhang sie verglichen werden, ob nur Strom oder zusätzlich auch Wärme produziert werden soll (Letzteres vor allem mit Wärmepumpen). Gaskombikraftwerke haben vergleichsweise tiefe Investitionskosten, sind rasch in praktisch unbegrenztem Umfang realisierbar und flexibel im Einsatz. Mit dem steigenden Anteil erneuerbarer (Wind-) Energien an der europäischen Stromproduktion gewinnt diese Betriebscharakteristik an Bedeutung. Gaskombikraftwerke erreichen ferner einen elektrischen Wirkungsgrad von rund 60 %. Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen erzeugen dezentral beziehungsweise verbrauchernah Strom und Wärme. Erfolgt die Wärmeerzeugung durch Verbrennung kann der zusätzliche Strom mit einem hohen Wirkungsgrad produziert werden. Anlagen mit Komfortwärmenutzung produzieren deutlich mehr als die Hälfte der Energie im Winterhalbjahr, Industrieanlagen gleichmässig über das Jahr verteilt. Allerdings sind die Investitionskosten vergleichsweise hoch, insbesondere wenn es sich um kleinere Anlagen und den Einbau in bestehende Heizanlagen handelt. Zudem wird der Wärmebedarf von Gebäuden aufgrund verbesserter Gebäudeisolierungen in Zukunft sinken. VSE

Résumé

Centrales à gaz à cycle combiné contre installations de couplage chaleur-force

Comparaison de deux options réalisables à court terme pour produire de l'électricité en Suisse

Une étude mandatée par FMB compare les centrales de couplage chaleur-force et les centrales à gaz à cycle combiné. L'étude repose sur les points suivant: usage optimal de chaque technologie, absence d'utilisation directe de la chaleur dans les centrales à gaz à cycle combiné, niveau d'émissions respectant les valeurs limites de l'ordonnance sur la protection de l'air, utilisation du CCF selon la stratégie fixée par l'Office fédéral de l'énergie en juin dernier.
Etant donné que les formes d'énergie utilisées, l'électricité et la chaleur, ne sont pas directement comparables, l'étude repose sur l'hypothèse selon laquelle l'électricité produite dans les centrales à gaz et les CCF est transformée en chaleur utilisable par le biais de pompes à chaleur. 1 kWh d'énergie primaire de gaz naturel permet de produire 1,62 kWh de chaleur dans le cas du CCF et 2,15 kWh dans le cas d'une centrale à gaz à cycle combiné. En ce qui concerne la protection du climat et la rentabilité, les centrales à gaz présentent un meilleur bilan que les centrales de CCF. Si le combustible fossile actuellement nécessaire pour la production de chaleur en Suisse était utilisé dans des centrales à gaz à cycle combiné pour produire de l'électricité, la quantité d'électricité produite en plus de la chaleur utilisable serait supérieure à la production actuelle des centrales nucléaires suisses. Mn



Bilder: Awtec

Bild 3 Basismodell Wärme und Strom. Aus der Primärenergie wird immer die gleiche Menge Wärme erzeugt. Durch die höhere Systemeffizienz der WKK- und GuD-Strategie gegenüber einem Gaskessel fällt zusätzlich Strom an.

Faktor 2 und bezüglich Schadstoffemissionen (CO, NO_x) um Faktor 2 bis 3 überlegen. Die Stromgestehungskosten sind ebenfalls tiefer. Die Abhängigkeit vom Ausland bezüglich Liefertreue (Erdgas) ist in beiden Fällen vergleichbar, wobei es einfacher sein dürfte, Bifuel-GuD zu realisieren, in denen bei Lieferengpässen Öl als Brennstoff eingesetzt werden kann.

Ein weiterer energiepolitisch interessanter Aspekt ist, dass durch die Wahl einer effizienten Energietechnik (Wärmepumpen) und relativ schnell amortisierbare GuDs keine langfristige Fixierung auf die fossile Stromproduktion eingegangen werden muss. Die GuDs können praktisch zu jeder Zeit durch andere (hoffentlich erneuerbare) Stromquellen ersetzt werden. Die effiziente Wärmepumpentechnik dürfte sich in jedem denkbaren Szenario auszahlen.

Dank breitem Produktsortiment, einer grossen Anzahl Hersteller und einer hohen Wettbewerbsintensität im Wärmepumpenmarkt ist eine breite wirtschaftliche Erschliessung der Schweiz möglich. Die WKK-Strategie ist im Vergleich zur GuD-Strategie energetisch deutlich weniger effizient und bezüglich Primär-Energiequellen weniger flexibel. Zudem sind die notwendigen Nahwärmeverbünde nur durch unpopuläre Anschlusszwänge zu erreichen, die dann kaum mehr aufgelöst werden können.

Der Schlüssel zur maximalen Energieeffizienz über die ganze Versorgungskette liegt darin, dass jeder einzelne Energieumwandlungsschritt mit einer maximalen exergetischen Effizienz erfolgt. Die Exergie-Effizienz ist beim Heizkessel null, bei der GuD/Wärmepumpe-Strategie auf dem aktuell besten Stand der Technik und beim System WKK/Wärmepumpe irgendwo dazwischen.

	Heizkessel mit Gas	Gas- und Dampfkraftwerk	Wärmekraftkoppelung
Wirkungsgrad elektrisch	–	58 %	26,3 %
Wirkungsgrad thermisch	98 %	–	65,8 %
Verluste Stromnetz	–	7,5 %	2,5 %
Verluste Wärmenetz	–	–	10 %
Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe	–	4	4
Emissionen CO [mg/m³ Abgas]	100	120	650
Emissionen NOx [mg/m³ Abgas]	120	50	400

Für die Berechnung verwendete Werte bezüglich Emissionen (entspricht LRV-Grenzwerten) und Effizienz.
Dass bei einer WKK-Anlage der Stromnetzverlust kleiner sein soll als bei einem GuD, ist methodisch fragwürdig, entspricht aber den Annahmen in der WKK-Strategie des Bundes.

Link

- Diese von der BKW in Auftrag gegebene Studie ist auf der Webseite der BKW abrufbar unter Stromproduktion, Unterrubrik Gas: www.bkw.ch

Referenzen

[1] Pascal Previdoli, Stellvertretender Direktor des Bundesamtes für Energie: Energiestrategie 2050 – Energieperspektiven & WKK-Strategie, Powerpoint-Präsentation vom 24. Juni 2011.
[2] Bundesamt für Energie: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2009.
[3] Bundesamt für Energie: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010.

Angaben zu den Autoren

Jochen Ganz, Dr. sc. techn. ETH, Executive MBA HSG, ist Gründer des Strategieberatungsunternehmens Awtec.
Awtec AG, 8050 Zürich
jochen.ganz@awtec.ch

Walter Weiler, MSc Materials Science, MBA, ist Partner und Mitglied der Geschäftsleitung von Awtec.
walter.weiler@awtec.ch

Stefan Stahl, MSc ETH Masch.-Ing., ist Projektleiter bei Awtec.
stefan.stahl@awtec.ch