



Wärmekraftkopplung

Definition

Wärmekraftkopplung (WKK) ist im Prinzip eine Heizung, die gleichzeitig Strom produziert. Oder ein Kraftwerk, das auch Wärme liefert – zum Heizen, für Warmwasser, für Prozesse oder zum Kühlen.

WKK produziert Strom und Wärme dezentral dort, wo man sie braucht. Weil im Winter mehr Wärme gebraucht wird, steigt auch die Stromproduktion – dies entspricht dem Bedarf.

Aus thermodynamischer Sicht geht bei der Erzeugung von Wärme im Heizkessel die Arbeitsfähigkeit (Exergie) des Brennstoffs verloren. Wärme ist Anergie, sie lässt sich nicht mehr in andere Energieformen umwandeln – im Gegensatz zur Exergie: Aus Strom wird z. B. Licht, Bewegung, Wärme.

Wärmekraftkopplung nutzt durch Erzeugung elektrischen Stroms die Exergie des Brennstoffs. Der Wert einer Energieform hängt von ihrem Exergiegehalt ab. Deshalb ist Strom in der Regel teurer als Wärme – und dies macht WKK wirtschaftlich.

Begriffe

WKK-Anlagen sind meist Blockheizkraftwerke (BHKW), d. h. die Kombination von Verbrennungsmotor und Generator mit Abwärmenutzung aus Motorenkühlung und Abgas, < 5 kWe auch Mini-BHKW genannt, < 1kWe Micro-BHKW.

Gasturbinen eignen sich vor allem für die Industrie (ab ca. 1 MW). Erzeugt der Dampf aus dem Abhitzekegel der Gasturbine mit einer Dampfturbine nochmals Strom, spricht man von Kombi- oder GuD (Gas und Dampf) Anlagen. Kleine Geräte bezeichnet man als Micro-gasturbinen (ca. 30-300 kWe, Strom-Wirkungsgrad 25-30 %, Gesamt-Wirkungsgrad ca. 80 %).

Stirlingmotoren, bei denen die Flamme eines Brenners einen oder mehrere Kolben treibt (externe statt interne Verbrennung im Zylinder von Verbrennungsmotoren), sind vorgesehen für Mini- oder Micro-BHKW.

Neu sind BHKW als Dampf-Entspannungs-Geräte: Ein Gasbrenner sorgt für Dampf, der einen Kolben treibt (= Strom); die Restwärme dient zum Heizen. Die Geräte können ihre Leistung modulieren (0,2-3 kWe, 2-16 kWth).

Zur Wärmekraftkopplung zählen auch Brennstoffzellen, die elektrochemisch Strom und Wärme erzeugen, indem sie die unterschiedliche Mobilität der Elektronen zweier Materialien ausnützen, nämlich das sog. Potentialgefälle zwischen Wasserstoff (meist aus Erdgas) und Sauerstoff, die an einem speziellen Elektrolyten zusammenkommen. Brennstoffzellen sind lieferbar mit 200 kWe (Elektrolyt = Phosphorsäure) und 250 kWe (Elektrolyt = Schmelzcarbonat), aber sehr teuer.

Terminologie

Les installations de couplage chaleur-force CCF sont généralement des installations qui combinent un moteur à combustion et un générateur avec exploitation de la chaleur du moteur et des gaz brûlés. Le terme de mini CCF s'applique à une installation < 5 kWe environ, les micro CCF < 1kWe.

Les turbines à gaz conviennent tout spécialement bien dans le secteur industriel (à partir d'environ 1 MW). Si la vapeur de la chaudière chauffée par la chaleur résiduelle de la turbine à gaz produit encore de l'électricité, on parle d'installation à cycle combiné ou d'installation G+V (gaz et vapeur). Les petites centrales CCF construites sur la base de turbocompresseurs à suralimentation de voiture ou de camion portent le nom de microturbines à gaz (environ 30 à 300 kWe, rendement en électricité de 25 à 30 %, rendement total d'environ 80 %).

Les moteurs Stirling dans lesquels la flamme d'un brûleur actionne un ou plusieurs pistons (combustion externe au lieu d'une combustion interne dans le cylindre de moteurs à combustion) sont prévus pour des mini ou micro CCF.

Les engins de décompression de vapeur forment une nouveauté des CCF: un brûleur à gaz fournit la vapeur qui actionne un piston (= électricité); la chaleur résiduelle sert au chauffage. Les engins peuvent moduler leur puissance (0,2-3 kWe, 2-16 kWth).

En matière de couplage chaleur-force CCF, entrent également en ligne de compte les piles à combustible qui produisent électrochimiquement de la chaleur et de l'électricité en exploitant la mobilité différenciée des électrons de deux matières, à savoir la chute de potentiel entre l'hydrogène (généralement tiré du gaz naturel) et l'oxygène en présence d'un électrolyte spécial. Les piles à combustible sont disponibles avec 200 kWe (électrolyte = acide phosphoreux) et 250 kWe (électrolyte = carbonate fondu), mais très onéreuses.

Couplage chaleur-force

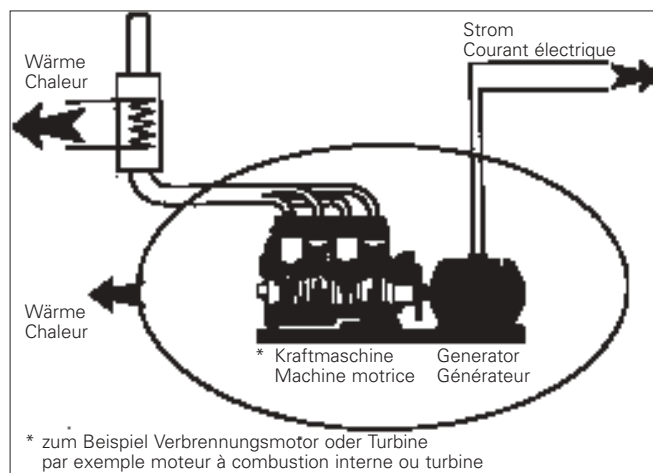
Installations de couplage chaleur-force

Le couplage chaleur-force CCF consiste en principe en une installation de chauffage qui produit simultanément de l'électricité. Ou en une centrale électrique qui délivre également de la chaleur – pour chauffer, préparer de l'eau chaude, exécuter des processus ou réfrigérer.

Le CCP produit l'électricité et le chauffage de manière décentralisée, là où l'on en a besoin. Comme on consomme davantage de chaleur en l'hiver, la production d'électricité augmente également – ce qui correspond aux besoins effectifs.

D'un point de vue thermodynamique, la production de chaleur avec une chaudière se traduit par une perte au niveau de la capacité de travail (énergie) du combustible. La chaleur est une forme d'énergie qui ne peut plus se transformer en d'autres formes d'énergie – contrairement à une forme d'énergie qui peut se transformer, à savoir par exemple de l'électricité qui peut se transformer en lumière, en mouvement ou en chaleur.

En produisant du courant électrique, le couplage chaleur-force CCF exploite l'exergie du combustible. La valeur d'une forme d'énergie dépend de sa teneur exergetique. En règle générale, l'électricité est plus coûteuse que la chaleur – ce qui signifie que le couplage chaleur-force CCF se révèle économique.



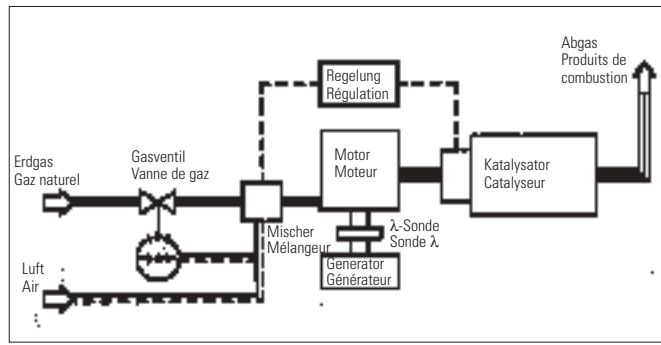
Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung WKK
 Principe du couplage chaleur-force CCF



Gasmotor-BHKW, modulierend von 7-20 kWe und 12-38 kWth ermöglichte Minergie-Standard in einer Überbauung in Langenthal.
 Le couplage chaleur-force à moteur à gaz modulant de 7-20 kWe et 12-38 kWth, a permis d'atteindre le standard Minergie dans le lotissement à Langenthal.



Gasmotor-Blockheizkraftwerk im Hallenbad Männedorf; rechts der Gasmotor, links der Generator
Couplage chaleur-force à moteur à gaz de la piscine couverte de Männedorf; moteur à gaz à droite, générateur à gauche



Gasmotor mit Dreibeige-Katalysator und Lambda-Regelung
Moteur à gaz avec catalyseur à 3 voies et régulation lambda

Gasmotor-BHKW

Gasmotoren sind Ottomotoren, d. h. Fremdzünder mit Zündkerzen. Ihr Strom-Wirkungsgrad liegt bei Mini-BHKW bei rund 25 %, mittlere Anlagen bei 33-39 %, über 1 MW bei 40-43 %. Mit Wärmenutzung beträgt der Gesamt-Wirkungsgrad 90-95 %, mit Abgas-Kondensation bis über 108 %.

Gasmotoren werden in BHKW meist mit Nennlast betrieben. Gewisse Motoren gestatten Teil- und Überlast. Von 3-20 kW_e sind Gas-BHKW mit stufenloser Leistungsregelung erhältlich, welche die Wärmeabgabe wie ein modulierender Gaskessel an den jeweiligen Bedarf anpassen können; die Wechselrichter Elektronik hält die Stromspannung konstant.

Umwelt

Der Grenzwert der Luftreinhalteverordnung (LRV) für Stickoxid (NO_x) bei Gas- und Dieselmotoren beträgt 250 mg/m³ (5 % O₂). Dies unterschreiten einige Gas-Magermotoren dank einem mageren Gas/Luft-Gemisch, d. h. mit «zu viel» Luft und «zu wenig» Brennstoff. Gas-Magermotoren haben meist Turbolader. Es ergibt sich ein hervorragendes Platzbedarf/Leistungsverhältnis.

Bei tieferen Grenzwerten (Massnahmegebiete), benötigen Magermotoren SCR-Katalysatoren (SCR= Selective catalytic reduction) mit Harnstoffeindüsung. Harnstoff wird u. a. als Dünger verwendet, in fester Form angeliefert und an Ort mit Flüssigkeit gemischt. Spezielle SCR-Katalysatoren erreichen extrem tiefe Schadstoffwerte z. B. für CO₂-Begasung in Gärtnereien.

Am häufigsten wird jedoch der Lambda-1-Gasmotor mit Dreibeige-Katalysator wie beim Auto verwendet. Auch dieses System eignet sich problemlos für alle Massnahmegebiete (< 50 mg/m³ NO_x). Generell gelten die CO₂-Vorteile von Erdgas auch für Erdgas-BHKW im Vergleich zu Heizöl. Mit Betriebs-Schwerpunkt im Winter (höherer CO₂-belasteter Importanteil am Strommix) ist die CO₂-Bilanz, bezogen auf den europäischen UCTE-Strommix, positiv.

Einsatz

BHKW sollten (ausser Mini) nur die Wärme-Grundlast abdecken (lange Motorlaufzeit). Den Rest besorgt ein Kessel. Überschüssige Wärme wird gespeichert. Wichtig ist das Speichermanagement: Bei gutem Preis für Hochtarif- oder Spitzenstrom muss der Speicher die bei Stromerzeugung anfallende Wärme aufnehmen können. Deshalb sind bei der Auslegung die Rücknahmetarife der EVU zu beachten. Ideal wäre die Verwendung der gesamten Stromproduktion im eigenen Haus. Notstrom ist möglich mit Zusatzausrüstung. Bei Grossanlagen lohnt es sich, mit dem EVU Verträge über Spitzen- oder Austausch von Notstromlieferungen abzuschliessen.

WKK gut für MINERGIE®

Der MINERGIE®-Standard bewertet Strom mit Faktor 2: Die doppelte Menge des im Haus erzeugten Stroms kann von der Bilanz abgezogen werden. So erreicht man MINERGIE®-Standard je nach Objekt auch mit Einsparungen an der Gebäudehülle, ohne Sonnenkollektoren oder dort, wo keine Wärmepumpe möglich ist. Modulierende BHKW mit kleiner Leistung sind zu bevorzugen, weil sie übers Jahr die höchste bilanzwirksame Stromproduktion erzielen.

Weitere Angaben über Dimensionierung und Wirtschaftlichkeit: www.waermekraftkopplung.ch
Angaben über Wärmekraftkopplung mit Erdgas: www.erdgas.ch
Pour de plus amples informations concernant le dimensionnement et la rentabilité des installations, consulter le site www.couplagechaleur-force.ch
Informations sur le couplage chaleur-force avec du gaz naturel, consulter le site www.gaznaturel.ch

Couplage chaleur force à moteur à gaz

Les moteurs à gaz sont des moteurs Otto, c'est-à-dire des moteurs à allumage commandé par des bougies. Le rendement électrique d'une mini CCF est de l'ordre de 25 %; il est de 33 à 39 % pour des installations d'importance moyenne et de 40 à 43 % pour des installations de plus de 1 MW. Avec l'exploitation de la chaleur, le rendement total est de 90 à 95 %, respectivement de plus de 108 % moyennant condensation des produits de combustion.

Sur les CCF, les moteurs à gaz sont en règle générale exploités à leur charge nominale. De 3-20 kW_e, les CCF avec moteur à gaz sont disponibles avec réglage en continu de la puissance, certains moteurs se prêtent à une exploitation à charge partielle et sur charge; l'électronique de l'onduleur maintient constante la tension électrique.

Environnement

Pour les moteurs Diesel et les moteurs à gaz, la valeur limite fixée par l'Ordonnance sur la protection de l'air (Opair) pour les oxydes d'azote (NO_x) est de 250 mg/m³ (5 % O₂). Quelques moteurs à gaz se situent au-dessous de cette limite. Ils travaillent avec un mélange maigre gaz/air, ce qui signifie «trop» d'air et «trop peu» de carburant. Les moteurs à gaz de type maigre sont généralement équipés d'un turbocompresseur de suralimentation. Il en résulte un rapport encombrement/puissance remarquable.

Pour des valeurs limites inférieures (zones soumises à des mesures spéciales), les moteurs de type maigre, les moteurs à dual-fuel et les moteurs Diesel nécessitent des catalyseurs SCR (SCR = selective catalytic reduction) à injection d'urée. L'urée s'utilise notamment comme engrais; elle est livrée sous forme solide et mélangée sur place à du liquide. Des catalyseurs spéciaux SCR parviennent à des teneurs en substances polluantes extrêmement basses, par exemple pour l'alimentation en CO₂ d'établissements horticoles.

Généralement, on utilise toutefois un moteur à gaz lambda-1 avec catalyseur à trois voies, comme pour une voiture. Ce système convient aussi très bien pour toutes les zones soumises à des mesures spéciales (< 50 mg/m³ NO_x).

Comparativement à l'huile de chauffage, les atouts CO₂ du gaz naturel sont généralement aussi valables pour les CCF. Avec une charge d'exploitation hivernale maximale (charge proportionnelle en CO₂ supérieure) et en comparaison de la charge proportionnelle européenne UCTE, le bilan CO₂ est positif.

Exploitation

A l'exception des mini CCF, les couplages chaleur-force ne devraient couvrir que la charge thermique de base (longue durée de fonctionnement du moteur). Le solde de la charge est couvert par une chaudière. La chaleur excédentaire est accumulée. La gestion de l'accumulateur est importante: si le courant de pointe ou à tarif élevé est commercialisé à un prix intéressant, l'accumulateur doit pouvoir absorber la chaleur dégagée lors de la production d'électricité. Dans le cadre du dimensionnement de l'installation, il faut donc tenir compte des tarifs de reprise des fournisseurs d'électricité. La solution idéale consisterait naturellement à utiliser toute la production d'électricité d'une manière interne. Dans tous les cas, les CCF ne travaillent plus exclusivement en fonction des besoins thermique mais en combinaison avec les exigences électriques requises. Il est possible de produire de l'électricité de secours, mais cette production nécessite toutefois un équipement complémentaire. Pour de grosses installations, il vaut la peine de conclure avec le fournisseur d'électricité des contrats sur les pointes ou échanges de fournitures de courant de secours.

CCF bon pour le standard MINERGIE®

Le standard MINERGIE® évalue l'électricité avec un facteur 2: une quantité double de l'électricité produite dans la maison peut être déduite du bilan. Ainsi il est possible, selon l'objet, d'atteindre le standard MINERGIE® également avec des économies de l'enveloppe du bâtiment, sans collecteurs solaires et là où les pompes à chaleur ne peuvent pas être utilisées. Les CCF modulants à faible puissance doivent être privilégiés, car ils obtiennent le meilleur bilan de production d'électricité sur toute l'année.