

Wärmewende mit innovativer KWK

Dr. Rolf Meißner

Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Kuchenäcker 2, 72135 Dettenhausen

r.meissner@ritter-xl-solar.de

Zusammenfassung

Noch nie zuvor gab es eine bessere Förderung für Solarthermie (ST) als zusammen mit innovativer Kraft-Wärme-Kopplung (iKWK), wobei ergänzend zur KWK-Wärme ein Anteil aus erneuerbaren Energien (EE) von 30 % gefordert wird. Was sind also die Gründe, warum die ST bis 07/2019 noch bei keinem der iKWK-Zuschläge endgültig zum Zuge kam? Ein großes Hindernis ist sicherlich die fehlende Erfahrung der KWK-Betreiber mit Kollektorfeldern und der Flächenbedarf. Dagegen ist die Hemmschwelle für die Wärmepumpentechnologie geringer, da sie sich scheinbar leichter in bestehende Infrastrukturen integrieren lässt. Dabei tritt offensichtlich in den Hintergrund, dass die ST die politisch gewünschte CO₂ Reduzierung in weitaus höherem Maß realisiert und in vielen Fällen auch die wirtschaftlich günstigere und langlebige Technik ist. Die Analyse der Antriebsenergie zur erneuerbaren Wärmelieferung zeigt Lücken in der Verordnung, die im Sinne ihrer Ziele geschlossen werden könnten. Ein allgemeingültiger iKWK-Wirkungsgrad für EE-Wärme wäre eine einheitliche Bewertungsbasis für einen technologieoffenen Wettbewerb. Ebenso bedarf es sinnvoller und für alle EE-Technologien gleichermaßen gerechter Pönalisierungen.



Abb. 1: Kollektorfeld für Fernwärme in Senftenberg

Innovative Kraft-Wärmekopplung iKWK

Damit eine KWK-Anlage als „innovativ“ im Sinne des KWKG gilt, muss sie ergänzend zur KWK-Wärme einen Anteil aus erneuerbaren Energien (EE) von 30 % aufweisen. Solarwärme, wie aus der in Abb. 1 dargestellten CPC-VRK-Solaranlage (Vakuum-Röhrenkollektoren mit CPC-Spiegel), ist nach der KWK-Ausschreibungsverordnung (KWKAusV) /1/ neben der Geothermie und Wärmepumpen eine der als Ergänzungs-EE zur KWK für Wärmenetze einsetzbaren Technologien. Hochleistungs-ST übertrifft mit einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von ca. 100 das geforderte Minimum von 1,25 um Faktor 80. Zudem liefert sie mühelos Wärme bei den für deutsche Wärmenetze typischen Netztemperaturen.

Wirtschaftlich unterscheidet sich die iKWK von „nicht-innovativer“ KWK dadurch, dass (1.) der Strom mit maximal 120 €/MWh_{el} statt mit maximal 70 €/MWh_{el} vergü-

tet wird und (2.) 45.000 statt 30.000 Vollbetriebsstunden (VBh) abrechenbar sind. Bis heute (07/2019) wurden in drei Vergaberunden insgesamt 13 iKWK-Systeme vergeben /2/, siehe Tabelle 1.

Bezugszeitraum	Einheit	Dez 17	Jun 18	Dez 18	Jun 19
Zuschlagsmenge KWK-Anlagen	MW _{el}	81.981	91.212	100.315	46.400
durchschnittlicher, mengengewichteter Zuschlagswert = Y	Euro/MWh	40,5	43,1	47,7	39,5
Zuschlagsmenge iKWK-Systeme (kW)	MW _{el}		20.883	12.963	22.493
durchschnittlicher, mengengewichteter Zuschlagswert	Euro/MWh		102,7	113,1	111,7
Mehrstrompreis für EE-Anteil bei iKWK = X	Euro/MWh		59,60	65,40	72,20
Mehrstrompreis für Mehrstrompreis bei iKWK (45.000 h x X)	Euro / MW _{el}		2.682.000	2.943.000	3.249.000
Mehrstromerlös für Mehrlaufzeit bei iKWK (15.000 h x Y)	Euro / MW _{el}		646.500	715.500	592.500
Gesamt-Mehrstromerlös iKWK gegenüber KWK als fixe Marktprämie für EE zusätzlich zum Marktpreis (fMPEE)	Euro / MW _{el}		3.328.500	3.658.500	3.841.500

Tabelle 1: Statistik zur iKWK bis Juni 2019

Aktuell (06/2019, grüne Tabellenspalte) haben iKWK-Systeme gegenüber einfacher KWK einen Mehrstrompreis von 72,2 €/kWh und über ca. 15 Jahre verteilt einen Gesamt-Mehrstromerlös als fixe Marktprämie für die EE-Wärme fMPEE von 3,84 Mio Euro pro MW_{el}, wenn man diesen Mehrstrompreis über 45.000 VBh und die zusätzlich vergüteten 15.000 h VBh zum Einspeisetarif von 39,5 €/MWh_{el} zusammenzählt:

$$fMPEE = 45.000 \text{ h} * 72,2 \frac{\text{€}}{\text{MWh}_{el}} + 15.000 \text{ h} * 39,5 \frac{\text{€}}{\text{MWh}_{el}} = 3,84 \frac{\text{Mio €}}{\text{MW}_{el}}$$

Zusätzlich zu dieser fixen Marktprämie verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der KWK und der EE-Wärme über den Wärme- und Stromverkauf.

Die sog. Referenzwärme Q_{th}^{Ref} , die mit iKWK jährlich erbracht wird, setzt sich zu 70 % zusammen aus KWK-Wärme und zu 30 % aus EE-Wärme:

$$Q_{th}^{Ref} = 3.000 \text{ VBh} \frac{Q_{el}}{0,7\sigma}; Q_{th}^{KWK} = 0,7 Q_{th}^{Ref}; Q_{th}^{EE} = 0,3 Q_{th}^{Ref}$$

mit der Stromkennzahl der KWK σ z. B. $\sigma = \frac{Q'_{el}}{Q'_{th}}$.

Pönalisierung bei Nichterreichen des EE-Anteils

Die iKWK-Förderung der EE-Wärme EEFW, umgelegt auf ein Bezugsjahr, berechnet sich für jede Art von EE-Wärme wie folgt:

$$EEFW \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}_{th}} \right] = \frac{fMPEE}{(1+S) Q_{th}^{EE}} = \frac{fMPEE}{0,3 (1+S) Q_{th}^{Ref}}$$

mit einem Sicherheitsaufschlag S, weil für jeden Prozentpunkt der Referenzwärme, um den der EE-Anteil das Ziel von 30 % verfehlt, 300 Stunden Einspeisevergütung als Pönale zu zahlen sind, also maximal 36.000 Euro pro Prozentpunkt und Jahr bzw. $\frac{36000 \text{ €/a}}{0,01 Q_{th}^{Ref}} = 840 \frac{\text{€}}{\text{MWh}_{th}}$. Von dieser Pönale ist aber nur die ST bedroht, weil andere EE wie Geothermie oder Wärmepumpen es in der Hand haben, wie viel sie einspeisen, Solarwärme wetterbedingt aber von Jahr zu Jahr schwanken kann. Wenn Solaranlagen mit S = 0,1 um 10 % größer gebaut werden, als es für $Q_{th}^{EE} = 0,3 Q_{th}^{Ref}$ notwendig wäre, schmälert das die Förderung um 10 %, weil die fixe Marktprämie immer gleich bleibt. Das KWKG könnte der einseitigen Benachteiligung von Solarwärme, die der Sicherheitszuschlag S bewirkt, durch eine der 3 folgenden Maßnahmen abhelfen:

1. Abrechnung des EE-Anteils bei ST (oder generell) über 5 Jahre, damit sich jahreszeitliche Schwankungen ausmitteln können,
2. Gutschrift in gleicher Höhe wie die Pönale für jede Überschreitung des EE-Anteils, oder
3. wenn maximal 2 % p. a. der EE aus PtH (Power to Heat) von EE-Strom kommen dürfen, was keine zusätzliche Investition erfordert, denn ein entsprechender Stromkessel ist bereits eine iKWK-Vorgabe.

Die iKWK-Förderbedingungen in Bezug auf die JAZ

Die jährliche Pönalisierung der Wetterschwankungen ist nicht das größte Hemmnis für die ST im KWKG. Das Finden und die Genehmigung einer Aufstellfläche bleibt sowieso der ST größtes Handicap. Es herrschen aber auch keine paritätischen Verhältnisse zwischen den verschiedenen EE, solange die JAZ darin nicht anspruchsvoller definiert und deren Nichteinhaltung nicht ebenfalls pönalisiert wird. Vielleicht wurde der Mindestwert für die JAZ mit 1,25 so tief gesetzt, damit diese bei der Wahl der EE-Wärmequelle überhaupt keine Rolle spielt. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen der JAZ und der iKWK-Förderung. Die Jahresarbeitszahl JAZ ist das Verhältnis von EE-Wärme zur Hilfs- und/oder Antriebsenergie Q_{el}^{EE} , die zur Gewinnung der EE-Wärme erforderlich ist. Q_{el}^{EE} ist in vielen Fällen elektrisch, kann aber auch brennstoffbasiert sein.

$$JAZ = \frac{Q_{th}^{EE}}{Q_{el}^{EE}} = \frac{\text{Wärme aus EE}}{\text{Antriebsenergie für Wärme aus EE}} = \frac{0,3 Q_{th}^{Ref}}{Q_{el}^{EE}}$$

Zieht man die Antriebsenergie für EE-Wärme Q_{el}^{EE} immer gleich von der entsprechenden KWK-Elektroenergie ab, verbleibt eine effektive KWK-Elektroenergie von

$$Q_{el}^{eff} = Q_{el}^{KWK} - Q_{el}^{EE} = Q_{el}^{KWK} - \frac{0,3 Q_{th}^{Ref}}{JAZ} \text{ mit } Q_{th}^{Ref} = \frac{Q_{el}^{KWK}}{0,7\sigma}, \text{ so dass}$$

$$Q_{el}^{eff} = Q_{el}^{KWK} \left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right)$$

Das ist nur physikalisch und bilanziell möglich, denn kaufmännisch betrachtet darf der Antriebsstrom nicht als Eigenstrom von der KWK genutzt werden, sondern muss aus dem Netz kommen. Die Gleichzeitigkeit des KWK-Betriebs mit dem der EE-Wärmegewinnung ist auch eher nicht der Fall. Doch in der Gesamtjahresbilanz folgt daraus eine effektive iKWK-Leistung

$$Q_{el}^{eff} = Q'_{el} \left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right), \text{ wobei der Faktor}$$

$\eta_{iKWK}^{EE} = \left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right)$ als *iKWK-Wirkungsgrad zur Erzeugung der EE-Wärme* oder als *Gütegrad der iKWK-EE-Wärme* verstanden werden kann, der mit der JAZ und mit der Stromkennzahl σ ansteigt, siehe auch Tab. 2.

Wirkungsgrad η JAZ	Wärmepumpen				Solarthermie	
	1,25	2	4	10	50	100
$\sigma = Q_{el}^{KWK} / Q_{th}^{Ref}$						
1	0,657	0,786	0,893	0,957	0,991	0,996
0,8	0,571	0,732	0,866	0,946	0,989	0,995
0,6	0,429	0,643	0,821	0,929	0,986	0,993

Tabelle 2: Wirkungsgrad zur Erzeugung erneuerbarer Wärme in Abhängigkeit von Stromkennzahl und JAZ

Anmerkung: Der Einfluss der JAZ lässt sich allgemein als *Wirkungsgrad für die effektive (verbleibende elektrische) Leistung (oder Energie)* begreifen:

$$Q_{el}^{eff} = Q'_{el} \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right) = Q'_{el} \eta_{el}^{EE}$$

Nur unter den besonderen Bedingungen von iKWK (Referenzwärme $Q_{th}^{Ref} = \frac{Q_{el}^{KWK}}{0,7}$, EE-Wärme $Q_{th}^{EE} = 0,3 Q_{th}^{Ref}$ und Stromkennzahl $\sigma = \frac{Q_{el}^{KWK}}{Q_{th}^{KWK}}$) wird daraus

$$Q_{el}^{eff} = Q'_{el} \left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right) = Q'_{el} \eta_{iKWK}^{EE}$$

iKWK soll vor allem die Flexibilität in der Stromerzeugung erhöhen und damit das Netz zu entlasten. Zum innovativen Anteil gehört die Erzeugung von erneuerbarer Wärme mit möglichst geringer CO₂ Erzeugung. Abbildung 2 zeigt, dass Anlagen mit niedriger JAZ die gestellten Anforderungen deutlich schlechter erfüllen, weil sie zu einer zusätzlichen Netzbelastung bzw. höheren Brennstoffverbrauch führen. Gegenüber Anlagen mit hoher JAZ wird somit mehr CO₂ emittiert.

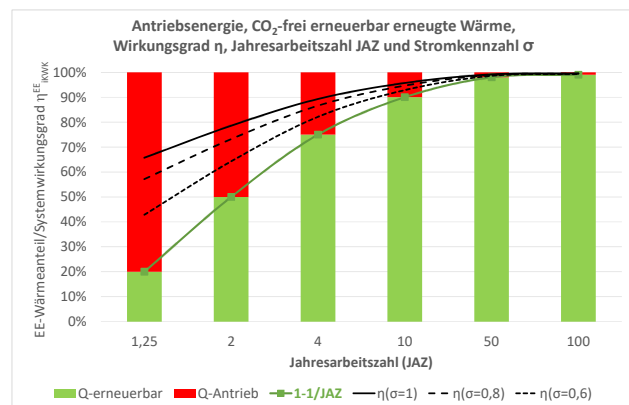


Abb. 2: Anteile Antriebsenergie und CO₂-frei erneuerbar erzeugte Wärme sowie Wirkungsgrad allgemein ($\eta_{el}^{EE} = 1 - 1/JAZ$) und bei iKWK ($\eta_{iKWK}^{EE}(\sigma; JAZ)$)

Für $\sigma = 1$ und eine JAZ = 1,25 ergibt sich beispielsweise, dass ca. 1/3 der erzeugten KWK Energie für die Bereitstellung der EE-Wärme aufgewendet werden muss. Praktisch muss jedoch dieser Strom aus dem Netz bezogen werden, was unter Umständen zu einer zusätzlichen unerwünschten Netzbelastung führen kann, da die EE-Wärmanlage jederzeit ein- und ausgeschaltet werden kann. Für den Betreiber stellt dies einen zusätzlichen erheblichen regeltechnischen Vorteil gegenüber z. B. solarthermischen Anlagen dar, die praktisch ausschließlich dann arbeiten, wenn die Sonne scheint. Umgekehrt werden aber deren besondere Vorteile nicht gewürdigt z. B., dass das Stromnetz nicht zusätzlich belastet wird, dass die KWK Energie bilanztechnisch praktisch vollständig verfügbar ist, und dass die sehr geringe elektrische Energie nur zu Zeiten benötigt wird, wenn ohnehin CO₂ freier PV Strom vorhanden ist. Dazu kommt bei Hochleistungs-ST,

dass exergetisch sehr hochwertige Wärme geliefert wird, ohne dass Zusatzaggregate notwendig sind oder die Effizienz andere Wärmeerzeuger darunter leidet (z. B. bei Rücklaufanhebung).

Tabelle 2 und Abb. 2 zeigen, dass gerade mit hohen JAZ das in der Verordnung gesteckte Ziel, „dass innovative KWK-Systeme möglichst viel ungekoppelte brennstoffbasierte Strom- und Wärmeerzeugung verdrängen soll“, besser erreicht wird. Dennoch werden niedrige JAZ gleich behandelt und damit tendenziell bevorzugt, da die Anforderung geringer ist. Der iKWK-Wirkungsgrad $\eta_{iKWK}^{EE}(\sigma, JAZ)$ zur Erzeugung erneuerbare Wärme ist ein Maß dafür, wie gut die Anlage die gestellten Anforderungen bei unterschiedlichen Stromkennzahlen erfüllt. Aktuell sind Antragsteller mit niedrigen JAZ im Vorteil und nutzen dies entsprechend. Es wäre erforderlich und ziemlich einfach möglich, den Erfüllungsgrad der Anforderungen in die Angebotsbewertung mit einzubeziehen. Die Förderung der EE-Wärme besteht in einer fixen Marktprämie für den ins Netz eingespeisten Strom:

iKWK-Förderung = Strommenge x Strompreis.

Bilanziell ist die effektive Strommenge, die der Netzeinspeisung effektiv verbleiben, um den Faktor $\left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right)$ reduziert:

effektive Strommenge = $\left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right)$ x Strommenge.

Würde man also die fixe Marktprämie, die als Stromzuschlagspreis im Bieterverfahren ersteigert wird, um den Systemwirkungsgrad zur Erzeugung der EE-Wärme reduzieren, dann wären für die iKWK-Förderung der EE-Wärme für alle KWK-Erzeuger mit den unterschiedlichsten Stromkennzahlen σ und für alle Möglichkeiten der EE-Wärmeerzeugung mit unterschiedlichen JAZ paritätische Verhältnisse hergestellt:

effektiver Strompreis = $\left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right)$ Stromzuschlagspreis.

Bei EE-Wärmeerzeugern, deren JAZ unbekannt aber sicher > 5 ist, wie z. B. Geothermie oder ST könnte man auf den Faktor vereinfachend verzichten:

$$\text{Strompreis} = \begin{cases} \left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ}\right) \times \text{Zuschlagspreis bei WP mit JAZ} < 5 \\ \text{Zuschlagspreis sonst} \end{cases}$$

Konkret hieße das, dass für eine Motorwärmepumpe mit einer Stromkennzahl von 0,6 und einer JAZ von 3 die tatsächliche Stromvergütung um knapp 1/4 gegenüber dem Zuschlag im Bieterverfahren reduziert werden müsste.

Allein deshalb, weil die effektive Strommenge sehr von der JAZ abhängt, und erst Recht im Falle eines effektiven Strompreises sollte auch die Falschannahme der JAZ pönalisiert werden, indem z. B. für jedes Zehntel, das die JAZ kleiner gemessen wird als im Bieterverfahren angegeben wurde, 300 Stunden der Marktprämie zum Strom-

Zuschlagspreis als Pönale zu zahlen sind oder 300 VBH mehr an EE-Wärme erzeugt werden muss.

Um die CO₂-Problematik in den Mittelpunkt zu stellen, wäre es sicher auch zielführend, sämtlichen energetischen Bau-, Transport- und Versorgungsaufwand zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage, welche am Ende EE-Wärme liefert, als Hilfsenergie im Nenner der JAZ als Q_{el}^{EE} zu bedenken.

Fazit

Prinzipiell ist innovative KWK für ST eine sehr attraktive Förderung, indem sie mit der Differenz einer fixen Marktprämie einen hohen Basisanreiz setzt und der Verkauf der Solarwärme die Wirtschaftlichkeit noch verbessert. Ungeachtet dessen benachteiligt das KWKG Solarwärme gegenüber anderen EE, weil sie die Wirtschaftlichkeit schmälernde Sicherheiten bedenken muss, damit Wetterschwankungen nicht pönalisiert werden. Ein großes Hemmnis scheint zu sein, dass es im KWKG bislang nicht darauf ankommt, ob die erneuerbare Wärme überwiegend aus „konventioneller“ Antriebsenergie oder tatsächlich aus CO₂-freier Umweltenergie besteht. Eine Bewertung der fixen Marktprämie anhand des vorgestellten iKWK-Wirkungsgrades zur Erzeugung von EE-Wärme kann hier einen fairen Ausgleich schaffen. Die JAZ und die Stromkennzahl sind die messbaren Parameter, die eine Korrektur der fixen Marktprämie erlauben, so dass z. B. für kleine JAZ nur noch die effektive Strommenge, die nach Abzug der Antriebsenergie der Netzeinspeisung verbleibt, mit dem im Bieterverfahren ersteigerten Zuschlagspreis vergütet wird. Die Pönalisierung einer zu hoch angegebenen JAZ wäre dann genauso notwendig wie sie für das Nichterreichen des geforderten EE-Wärmeanteils schon besteht. Eine Novellierung des KWKG Gesetzes scheint im Sinne der Lenkungswirkung hin zu einer eindeutigen CO₂ Reduzierung des Fernwärmesektors angebracht.

Quellen

/1/ Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil 1 Nr. 57, herausgegeben zu Bonn am 17.8.2017, S. 3167-3197

/2/

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/KWK/BeendeteAusschreibungen/BeendeteAusschreibungen_node.html

Fotos und Abbildungen

Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG