

# Innovative KWK mit Solarthermie

Dr. Rolf Meißner

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

[r.meissner@ritter-xl-solar.de](mailto:r.meissner@ritter-xl-solar.de)

## Zusammenfassung

Als erneuerbare Energie (EE) mit dem größten CO<sub>2</sub>-Sparpotential ist die Solarthermie (ST) dafür prädestiniert, bei innovativer Kraft-Wärme-Kopplung (iKWK) den geforderten Anteil von EE-Wärme zu liefern. Die damit verbundene Förderung als fixe Zusatzprämie für die KWK-Strom-Netzeinspeisung übertrifft derzeit die Förderung im Marktanzreizprogramm (MAP) um ein Vielfaches und stellt ganz im Gegensatz zum MAP eine kompromisslos ertragsabhängige Förderung ohne Einschränkung durch das EU-Beihilferecht dar. Umso verwunderlicher ist es, warum die ST bis 7/2019 noch bei keinem der iKWK-Zuschläge endgültig zum Zuge kam. Der Artikel erläutert iKWK und deren Förderung, zeigt deren Wirkung auf ST-Anlagen und diskutiert die bestehenden, z. T. auch im KWKG begründeten Hemmnisse.



Abb. 1: Kollektorfeld für Fernwärme in Senftenberg

## Innovative Kraft-Wärme-Kopplung

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. Wie für KWK finden halbjährlich Bieterverfahren statt, in denen sich iKWK-Projekte um möglichst marktgerechte Zuschläge bewerben können. Wirtschaftlich unterscheidet sich die iKWK von „nichtinnovativer“ KWK dadurch, dass (1.) der Strom mit maximal 120 €/MWh<sub>el</sub> statt mit maximal 70 €/MWh<sub>el</sub> vergütet wird und (2.) 45.000 statt 30.000 Vollbetriebsstunden (VBh) abrechenbar sind. Bis heute (07/2019) wurden in 3 Vergaberunden insgesamt 13 iKWK-Systeme vergeben /2/, siehe Tabelle 1.

Bezugszeitraum	Einheit	Dez 17	Jun 18	Dez 18	Jun 19
Zuschlagsmenge KWK-Anlagen	MW <sub>el</sub>	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 <sub>el</sub>	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	
Mehrstromerlös für Mehrstrompreis bei iKWK (45.000 h x X)	Euro / MW <sub>el</sub>	2.682.000	2.943.000	3.249.000	
Mehrstromerlös für Mehrlaufzeit bei iKWK (15.000 h x Y)	Euro / MW <sub>el</sub>	646.500	715.500	592.500	
Gesamt-Mehrstromerlös iKWK gegenüber KWK als fixe Marktprämie für EE zusätzlich zum Marktpreis (fMPEE)	Euro / MW <sub>el</sub>	3.328.500	3.658.500	3.841.500	
Äquivalent an Kollektorfläche CPC-VRK (bei 450 €/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	7.397	8.130	8.537	
Äquivalent an solarer Netzwärme (bei 0,5 MWth/m <sup>2</sup> a)	MWth <sub>th</sub> / aMW <sub>el</sub>	3.698	4.065	4.268	

Tabelle 1: Statistik zur iKWK bis Juni 2019

Aktuell (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<sub>el</sub>, wenn man diesen Mehrstrompreis über 45.000 VBh und die zusätzlich vergüteten 15.000 VBh zum Einspeisetarif von 39,5 €/MWh<sub>el</sub> zusammennimmt:

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

Eine CPC-VRK-Solaranlage würde so mit 450 €/m<sup>2</sup> und 0,5 MWh/m<sup>2</sup>a mehr als dreimal getilgt, wenn sie zur Sicherheit auf 33 % EE-Anteil (statt der geforderten 30 %) überdimensioniert wird und die Stromkennzahl der KWK  $\sigma$  z. B.  $\sigma = \frac{P_{el}}{P_{th}} = 1$  ist. Weil diese Förderung gewissermaßen in 15 Jahresraten eingeht, amortisiert sie sich erstmals nach ca. 5 Jahren. Zusätzlich erwirtschaftet die Solaranlage über Wärmeverkauf jedes Jahr mindestens 1 MWh<sub>th</sub> pro 1000 Euro der Investition, so dass sie bei einem Wärmeverkaufspreis von z. B. 80 €/MWh<sub>th</sub> aller 11 bis 12 Jahre auch ohne Förderung bezahlt wäre, während 45.000 MWh Strom pro MW elektrischer KWK-Leistung an der Börse verkauft werden, zusätzlich zur fixen Marktprämie fMP von insgesamt

$$fMP = 45.000 \text{ h} * 111,7 \frac{\text{€}}{\text{MWh}_{el}} = 5,03 \frac{\text{Mio €}}{\text{MW}_{el}}$$

Die sog. Referenzwärme  $E_{th}^{Ref}$ , die mit iKWK jährlich mindestens erbracht werden muss, soll sich zu 70 % aus KWK-Wärme und zu  $p^{EE} = 30\%$  aus EE-Wärme zusammensetzen:

$$E_{th}^{Ref} = 3.000 \text{ VBh} \frac{P_{el}}{0,7\sigma}; E_{th}^{KWK} = (1 - p^{EE}) E_{th}^{Ref}; E_{th}^{EE} = p^{EE} E_{th}^{Ref}$$

## Vergleich der Förderprogramme für Solaranlagen

Die (aktuelle!) iKWK-Förderung der EE-Wärme EEFW, umgelegt auf ein Bezugsjahr, damit sie mit dem Marktanzreizprogramm MAP vergleichbar wird, berechnet sich für jede Art von EE-Wärme wie folgt:

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

mit der fixen Marktprämie für die EE-Wärme von aktuell fMPEE = 3,84 Mio Euro pro MW<sub>el</sub> und einem Sicherheitszuschlag 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.  $\frac{36.000 \text{ €/a}}{0,01 \frac{E_{th}^{Ref}}{\text{MWh}_{th}}} = 840 \frac{\text{€}}{\text{MWh}_{th}}$ . Von dieser Pönale ist aber

nur die ST bedroht, weil es andere EE in der Hand haben, wie viel sie einspeisen, Solarwärme wetterbedingt aber von Jahr zu Jahr schwanken kann. Wenn Solaranlagen um 10 % größer gebaut werden, als es für  $E_{th}^{EE} = 0,3 E_{th}^{Ref}$  notwendig wäre, schmälert das die Förderung um 10 %, S. 1

weil die fixe Marktprämie immer gleich bleibt. Für die Stromkennzahl  $\sigma=1$  wird in Tabelle 2 die iKWK-Förderung mit der Förderung im MAP verglichen.

Parameter zur Solarthermieanlage	Einheit	iKWK	MAP		iKWK	
			GU	KU	GU	KU
		CPC-VRK-Hochleistungskollektoren		Flachkollektor		
Maximale Investitionsförderung zu Beginn <sup>1)</sup>	%	45	45	45	0	45
spez. Investitionskosten	€/m <sup>2</sup>	450	450	450	350	350
spez. solarer Netzwärmeertrag	MWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> a	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3
solare Netzwärmeerkosten (auf 1 Ertragsjahr gelegt)	€/ (MWh <sub>th</sub> /a)	900	900	900	1.167	1.167
Stromkennzahl $\sigma = Q_{el} / Q_{th}$ (KWK)		1	-	-	1	-
Referenzwärme	MWh <sub>th</sub> /MW <sub>el</sub>	4,286	-	-	4,286	-
Kollektorfläche pro MW <sub>el</sub> (0,3 Q <sub>th</sub> )	m <sup>2</sup> /MW <sub>el</sub>	2.571	-	-	4,286	-
Kollektorfläche mit 10 % Sicherheit	m <sup>2</sup> /MW <sub>el</sub>	2.829	-	-	4.714	-
Mehrstrompreis für EE-Anteil bei iKWK	€/MWh <sub>el</sub>	72,2	0	0	72,2	0
Mehrstrompreis für Mehrstrompreis (45.000 VBh)	€/MWh <sub>el</sub>	3.249.000	-	-	3.249.000	-
Strompreis nicht-solarer KWK (Stand 07/2019)	€/MWh <sub>el</sub>	39,5	0	0	39,5	0
Mehrstrompreis für Mehrlaufzeit (15.000 VBh)	€/MWh <sub>el</sub>	592.500	-	-	592.500	-
fixe Marktprämie für die EE-Wärme (MEP + MEZ)	€/MWh <sub>el</sub>	3.841.500	-	-	3.841.500	-
Investitionskosten in EE pro MW <sub>el</sub> mit 10 % Sicherheit	€/MWh <sub>el</sub>	1.272.857	-	-	1.650.000	-
Eigentum an der Investition (EEK - IMPEE)	€/MWh <sub>el</sub>	-2.988.643	-	-	-2.191.500	-
EE-Wärmeförderung (auf 1 Ertragsjahr gelegt)	€/ (MWh <sub>th</sub> /a)	2.716	405	585	2.716	525
Förderung pro Kollektorfläche	€/m <sup>2</sup>	1.358	203	293	815	158
Effektive EE-Wärmeerkosten (EEWK - EEWf)	€/ (MWh <sub>th</sub> /a)	-1816	-	-	-1.950	-

Tabelle 2: Vergleich Förderung der Solarthermie mit iKWK und im MAP (ohne Inflation und Nebenkosten)

1) Die fixen Sätze von z. B. 45 % für Großunternehmen (GU) entstehen im MAP durch Kappung aufgrund von EU-Recht (AGVO), wodurch sich die sog. Ertragsabhängigkeit ins Gegenteil verkehrt, denn je mehr Ertrag ein Kollektor hat, umso mehr wird er dabei beschnitten.

Bei den aktuellen Bedingungen fördert iKWK die CPC-VRK-Solaranlage 6,7-mal intensiver als das MAP. Die Flachkollektoranlage wird nur 5,2-mal besser gefördert, weil sie vom MAP in dem Tabellenbeispiel ca. um 29 % besser gefördert wird als die CPC-VRK-Anlage. Die Tabelle 2 berücksichtigt keine Inflation, was das Ergebnis zu Gunsten der Solaranlage nur verbessern würde, denn die Investition in die Sonne erfolgt vorschüssig, die Erlöse für die Wärme werden aber über 20 bis 30 Jahre bei sehr niedrigen Betriebskosten erzielt. Ohne Sicherheitszuschlag beträgt die Förderung gemäß Tabelle 3 aktuell maximal 2.988 Euro pro EE-MWh<sub>th</sub>/Jahr, d. h. 7,4-mal mehr als die von der AGVO (auf 405 €/ (MWh<sub>th</sub>/a) gekappte Förderung im MAP.

Förderung EE-Wärme EEWf in Abhängigkeit von Stromkennzahl $\sigma$ und Sicherheit S bei einem Mehrstrompreis von 72,2 Euro / MWh (el.) und einem KWK-Preis von 39,5 Euro / MWh (el.), bezogen auf 1 Ertragsjahr [Euro/(MWh (th.) /a)]				
S	0%	5%	10%	15%
$\sigma = P_{el} / P_{th}$				
1	2988	2846	2716	2598
0,8	2390	2276	2173	2078
0,6	1793	1707	1630	1559

Tabelle 3: iKWK-Förderung auf 1 Ertragsjahr bezogen

Das KWKG könnte der einseitigen Benachteiligung von Solarwärme, die der Sicherheitszuschlag gegen die Pönalisierung von EE-Mindererträgen bewirkt, durch eine der drei folgenden Maßnahmen abhelfen:

1. Abrechnung des EE-Anteils 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 max. 2 % p. a. der EE aus PtH (Power to Heat) von EE-Strom kommen dürfen, was ohne zusätzliche Investitionen realisiert werden kann, denn ein entsprechender Stromkessel ist bereits eine iKWK-Vorgabe. Die bisher so gute iKWK-Förderung ist eine Folge der geringen Nachfrage. Abbildung 3 zeigt die Auswirkung geringerer Strompreise, als der bisher erzielten.

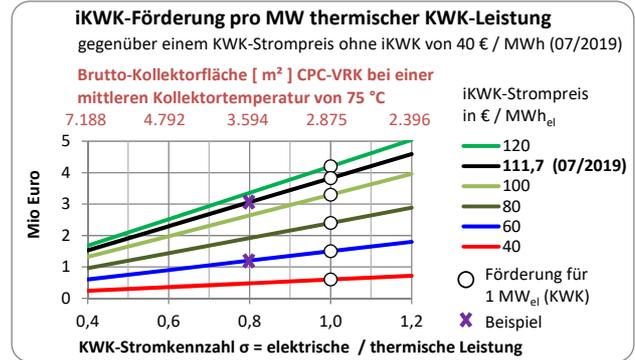


Abb. 3: iKWK-Förderung der Wärme aus EE pro Megawatt thermischer KWK-Leistung

Das Beispiel (Kreuze) zeigt, dass eine CPC-VRK-Solaranlage bei 75 °C mittlerer Kollektortemperatur und  $\sigma = 0,8$  eine Kollektorfläche von ca. 3.600 m<sup>2</sup>/MW<sub>el</sub> benötigt und zzt. (07/2019) etwa 3,06 Mio Euro an i-KWK-Förderung erhält. Davon wäre sie bis maximal 850 Euro/m<sup>2</sup> zu 100 % finanzierbar. Bei 60 €/MWh<sub>el</sub> reichten dafür 1,20 Mio € noch für 333 Euro/m<sup>2</sup>, zuzüglich zum Erlös aus 1.770 MWh/Jahr Solarwärme.

### Vergleich von Kolleorttechnologien

Die notwendige Kollektorfläche  $A_{Koll}$  ergibt sich aus der Referenzwärme  $E_{th}^{Ref}$ , der Sicherheit S von z. B. 10 %, den Erträgen nach Solar-Keymark-Zertifikat für Würzburg  $E_{SKey}^{Wurz}(T_m)$  in Abhängigkeit von der mittleren Kollektortemperatur  $T_m$  und konservativ angenommenen Wärmeverlusten von z. B. 2 kWh/m<sup>2</sup>aK ab  $T_m = 15 °C$ .

$$A_{Koll} = \frac{0,3 (1 + S) E_{th}^{Ref}}{E_{SKey}^{Wurz}(T_m) - 2 \frac{kWh}{m^2 Ka} (T_m - 15 °C)}$$

Abb. 4 zeigt die notwendigen Kollektorflächen für den CPC-VRK, für den aktuell besten Flachkollektor und für einen Flachkollektor mit Einfachverglasung.

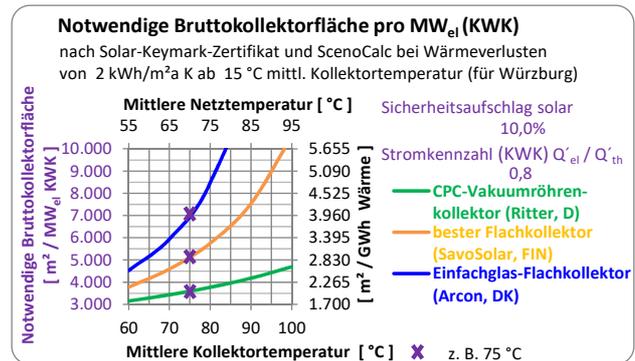


Abb. 4: Mittlere Temperaturen und notwendige Kollektorfläche pro MWh<sub>el</sub> bei iKWK bzw. pro GWh Wärme (rechte y-Achse) für verschiedene Kollektoren

Die Solar-Keymark-Erträge stehen für 25 °C, 50 °C und 75 °C im Zertifikat und können daraus für beliebige  $T_m$  extrapoliert oder mit den im freien Download verfügbaren Programmen ScenoCalc oder SCFW berechnet werden /3/. Eine CPC-VRK-Solaranlage benötigt demnach bei 75 °C mittlerer Kollektortemperatur und einer KWK-

Stromkennzahl  $\sigma$  von 0,8 pro MW elektrischer KWK-Leistung eine Bruttokollektorfläche von 3.594 m<sup>2</sup>. Der beste Flachkollektor benötigt zu gleichen Bedingungen mit 5.118 m<sup>2</sup> das gut 1,4-Fache und ein Flachkollektor mit Einfachverglasung mit 7.004 m<sup>2</sup> die doppelte Fläche, wofür alle drei Kollektoren die gleiche Förderung für die Wärme aus EE von aktuell 3,06 Mio Euro bekommen.

Trotz der Unterschiede beim Kollektorflächenbedarf und trotz des notwendigen Sicherheitsaufschlags zeigen alle drei Kollektoren in dem für sie jeweils passenden Temperatur- und Preissegment eine ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit. Für niedrige Netztemperaturen wie in Dänemark sind CPC-VRK noch zu teuer. Für Temperaturen wie in deutschen Städten benötigen Flachkollektoren u. U. zu viel Fläche und müssen dafür ziemlich günstig sein.

### Förderbedingungen in Bezug auf die JAZ

Die jährliche Pönalisierung der Wetterschwankungen ist nicht das einzige und vermutlich nicht einmal das größte Hemmnis für die ST im KWKG. Der ST größtes Handicap gegenüber anderen EE bleibt das Finden und die Genehmigung einer Aufstellfläche. Solange die Mindest-JAZ nicht anspruchsvoller als mit 1,25 definiert und deren Nichteinhaltung nicht genauso abschreckend hoch pönalisiert wird wie das Verfehlen des EE-Anteils an der Referenzwärme, herrschen keine paritätischen Verhältnisse zwischen den verschiedenen EE. Dabei besteht ein starker Zusammenhang zwischen der JAZ und der iKWK-Förderung. Die Jahresarbeitszahl JAZ ist das Verhältnis von EE-Wärme aus iKWK zur Antriebsenergie, die zur Gewinnung der EE-Wärme erforderlich ist. Dabei zählt bisher die Antriebsenergie auch zur EE-Wärme:

$$JAZ = \frac{E_{th}^{EE}(iKWK)}{E_{el}^{EE}} = \frac{EE \text{ aus Umwelt } (E_{th}^{EEU}) + \text{Antriebsenergie } (E_{el}^{EE})}{\text{Antriebsenergie für Wärme aus EE } (E_{el}^{EE})} = \frac{p^{EE} E_{th}^{Ref}}{E_{el}^{EE}}$$

wobei der Anteil an EE-Wärme ( $p^{EE}$ ) den Sicherheitsaufschlag  $S$  enthält. Zieht man die Antriebsenergie für EE-Wärme  $E_{el}^{EE}$  immer gleich von der entsprechenden KWK-Elektroenergie ab, verbleibt eine effektive KWK-Elektroenergie von

$$E_{el}^{eff} = E_{el}^{KWK} - \frac{p^{EE} E_{th}^{Ref}}{JAZ} \text{ mit } E_{th}^{Ref} = \frac{E_{el}^{KWK} / \text{Jahr}}{(1-p^{EE})\sigma}, \text{ so dass}$$

$$E_{el}^{eff} = E_{el}^{KWK} \left(1 - \frac{p^{EE}}{(1-p^{EE})\sigma JAZ}\right).$$

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 ebenfalls eher nicht der Fall. In der Gesamtjahresbilanz folgt daraus eine effektive iKWK-Leistung von

$$E_{el}^{eff} = E_{el} \left(1 - \frac{p^{EE}}{(1-p^{EE})\sigma JAZ}\right), \text{ wobei der Faktor}$$

$\eta_{iKWK}^{el} = \left(1 - \frac{p^{EE}}{(1-p^{EE})\sigma JAZ}\right)$  als *iKWK-Stromwirkungsgrad* verstanden werden kann, der mit der JAZ und mit der Stromkennzahl  $\sigma$  ansteigt, siehe Tab. 4. Der Wirkungsgrad für die „wahre EE“ ( $E_{th}^{EEU}$ ), die tatsächlich aus der

Umwelt kommt, ist hingegen  $\eta_{iKWK}^{EE} = \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right)$ . Da der KWK-Strom das Förderkriterium ist, soll auch die Umwelt-EE  $E_{th}^{EEU}$  auf die Strommenge  $E_{el}^{KWK}$  bezogen werden:

$$E_{th}^{EEU} = E_{th}^{EE}(iKWK) \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right) = E_{el}^{KWK} \frac{p^{EE}}{(1-p^{EE})\sigma} \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right)$$

mit  $p^{EE} = 0,3$  bzw.  $0,3(1+S)$ .

Stromwirkungsgrad $\eta_{iKWK}^{el}$ der iKWK-Stromerzeugung nach Abzug der Antriebsenergie für EE-Wärmegewinnung						
JAZ	Wärmepumpen			Solarthermie		
$\sigma = Q_{el} / Q_{th}$	1,25	2	4	10	50	100
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
EE-Wärmewirkungsgrad $\eta_{iKWK}^{EE}$ der iKWK-Stromerzeugung nach Abzug der Antriebsenergie						
beliebig	0,200	0,500	0,750	0,900	0,980	0,990

**Tabelle 4: Wirkungsgrad zur Erzeugung erneuerbarer Wärme in Abhängigkeit von Stromkennzahl und JAZ**

Bezieht man die fixe Marktprämie für EE-Wärme  $f_{MPEE}$  von 3,84 Mio €/MW<sub>el</sub> auf die nach Abzug des Eigenleistungsbedarfs verbleibende effektive elektrische iKWK-Leistung  $E_{el}^{eff}$ , dann wird die effektive fixe Marktprämie  $f_{MPEE}^{eff}(JAZ, \sigma) = \frac{f_{MPEE}}{\eta_{iKWK}^{EE}}$  für EE-Wärme umso attraktiver, je kleiner JAZ und Stromkennzahl  $\sigma$  sind.

Effektive fixe Marktprämie für EE-Wärme $f_{MPEE}^{eff}$ in Mio Euro pro MW <sub>el</sub> Anschlussleistung und pro $\eta_{iKWK}^{EE}$						
JAZ	Wärmepumpen			Solarthermie		
$\sigma = P_{el} / P_{th}$	1,25	2	4	10	50	100
1	5,846	4,889	4,302	4,014	3,875	3,858
0,8	6,723	5,247	4,436	4,059	3,883	3,862
0,6	8,964	5,976	4,677	4,137	3,897	3,869
beliebig	19,208	7,683	5,122	4,268	3,920	3,880

**Tabelle 5: Effektive fixe Marktprämie für EE-Wärme pro MW<sub>el</sub> in Abhängigkeit von Stromkennzahl und JAZ**

Tabelle 6 zeigt schließlich den prozentualen Aufschlag gegenüber der fixen Marktprämie für EE-Wärme ohne Berücksichtigung der Arbeitsenergie, d. h. für  $JAZ \rightarrow \infty$ .

Effektiver Aufschlag auf fixe Marktprämie durch JAZ gegenüber dem von $JAZ = \infty$ in Prozent mit $\eta_{iKWK}^{EE}$						
JAZ	Wärmepumpen			Solarthermie		
$\sigma = Q_{el} / Q_{th}$	1,25	2	4	10	50	100
1	52,2%	27,3%	12,0%	4,5%	0,9%	0,4%
0,8	75,0%	36,6%	15,5%	5,7%	1,1%	0,5%
0,6	133,3%	55,6%	21,7%	7,7%	1,4%	0,7%
beliebig	400,0%	100,0%	33,3%	11,1%	2,0%	1,0%

**Tabelle 6: Effektiver Marktprämienaufschlag für EE-Wärme pro MW<sub>el</sub> in Abhängigkeit von der JAZ**

Bei einer JAZ von 1,25 besteht die EE-Wärme zu 80 % aus Antriebsstrom, so dass kein großer Unterschied mehr zu P2H besteht. Wenn dieser Strom nicht immer vollständig aus erneuerbaren Quellen stammt, dann kann er sogar das Vorzeichen der CO<sub>2</sub>-Bilanz der damit gewonnenen EE-Wärme kippen. Versteht man das Stromsparen als Maß für das CO<sub>2</sub>-Sparen, dann ist 1/JAZ eine Kennziffer dafür, in welchem Grad dies noch nicht gelingt, und  $1 - \frac{1}{JAZ}$  kann ganz allgemein als Wirkungsgrad dafür verstanden werden, in welchem Grad das CO<sub>2</sub>-Vermeiden gelingt – gewissermaßen ein *CO<sub>2</sub>-Gütegrad*. Erst ab einer JAZ von 10, wenn also weniger als 10 % Hilfsenergie bei der EE-Wärmegewinnung verloren geht, hat diese kaum noch Einfluss auf die Förderung und ab JAZ = 50, also z. B. für ST-Anlagen, praktisch keinen mehr.

iKWK soll vor allem die Flexibilität bei der Stromerzeugung erhöhen, um das Netz zu entlasten. Innovativ ist dabei die Erzeugung von EE-Wärme mit möglichst wenig

CO<sub>2</sub>. Abbildung 5 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 CO<sub>2</sub> emittiert.

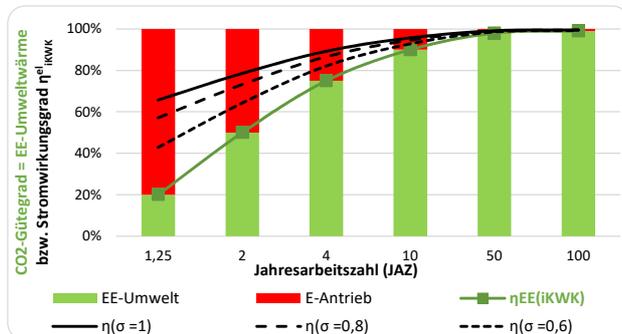


Abb. 5: Anteile Antriebsenergie und CO<sub>2</sub>-frei erneuerbar erzeugte Wärme sowie iKWK-Stromwirkungsgrad  $\eta_{iKWK}^{el}(\sigma, JAZ)$  und CO<sub>2</sub>-Gütegrad  $\eta_{iKWK}^{EE}(JAZ)$

Mit einer WP mit JAZ = 1,25 müssen bei  $\sigma = 0,6$  ca. 60 % des erzeugten KWK-Stromes für die Bereitstellung der EE-Wärme aufgewendet werden. Dieser Strom belastet das Netz zusätzlich und v. a. während maximaler Stromlastspitzen, da die WP jederzeit ein- und ausgeschaltet werden kann. Das ist ein erheblicher bilanzieller und regeltechnischer Vorteil gegenüber ST, die praktisch ausschließlich dann arbeitet, wenn die Sonne scheint. Umgekehrt würdigt das KWKG die Vorteile der ST nicht, z. B.,

- dass das Stromnetz nicht zusätzlich belastet wird,
- dass der KWK-Strom auch bilanziell verfügbar ist,
- dass die geringe elektrische Energie nur dann benötigt wird, wenn CO<sub>2</sub>-freier PV Strom das Netz stützt und
- dass insbesondere Hochleistungs-ST „hochwertigere“ Wärme liefert, für die keine Nacherwärmung notwendig ist oder unter der die Effizienz anderer Wärmeerzeuger leidet (z. B. bei Rücklaufanhebung).

Tabelle 4 und Abb. 5 zeigen eindrucksvoll, dass gerade mit hohen JAZ >10 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-Stromwirkungsgrad  $\eta_{iKWK}^{el}(\sigma, JAZ)$  und der CO<sub>2</sub>-Gütegrad  $\eta_{iKWK}^{EE}(JAZ)$  sind 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:

$$iKWK\text{-Förderung} = \text{Strommenge} \times \text{Strompreis.}$$

Bilanziell ist die effektive Strommenge, die der Netzeinspeisung effektiv verbleiben, um den Faktor  $\left(1 - \frac{p^{EE}}{(1-p^{EE})\sigma JAZ}\right)$  reduziert mit  $p^{EE} = 0,3$  bzw.  $0,3(1 + S)$ :

$$\text{effektive Strommenge} = \left(1 - \frac{p^{EE}}{(1-p^{EE})\sigma JAZ}\right) \times \text{Strommenge.}$$

Wird die fixe Marktprämie auf die EE-Wärme aus der Umwelt ( $E_{th}^{EEU}$ ) bezogen, dann wächst sie um den Faktor  $\frac{JAZ-1}{JAZ} = 1 - \frac{1}{JAZ}$  gegenüber EE-Wärme mit JAZ  $\rightarrow \infty$ .

Würde man also die fixe Marktprämie, die als Stromzuschlagspreis im Bieterverfahren ersteigert wird, um den Wirkungsgrad zur Erzeugung der EE-Wärme reduzieren, wären paritätische Verhältnisse hergestellt:

$$\begin{aligned} \text{effektiver Strompreis} &= \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right) \text{Stromzuschlagspreis} \\ \text{oder effektive Vergütungszeit} &= \left(1 - \frac{1}{JAZ}\right) \times 45.000 \text{ VBh.} \end{aligned}$$

Für eine Wärmepumpe mit einer JAZ von 4 müsste die Stromvergütung z. B. um 1/4 reduziert werden müsste.

Weil die effektive Strommenge sehr von der JAZ abhängt, und erst Recht im Falle einer effektiven Stromvergütung 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 VBh der Marktprämie zum Stromzuschlagspreis als Pönale zu zahlen sind oder 300 VBh mehr an EE-Wärme erzeugt werden muss. Abbildung 6 zeigt eine Zusammenfassung als Balkendiagramm.

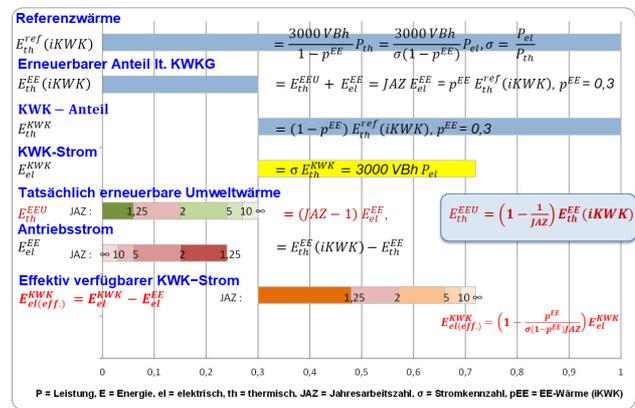


Abb. 5: Zusammenfassung: iKWK im KWKG

Um das CO<sub>2</sub> in den Mittelpunkt zu stellen, wäre es zielführend, auch 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  $E_{el}^{EE}$  zu bedenken.

### Fazit

Für Solarthermie ist innovative KWK eine echte ertragsabhängige und die derzeit attraktivste Förderung. Mit der Differenz einer gegenüber einfacher KWK höheren fixen Marktprämie für ins Netz eingespeisten Strom wird die Investition in EE umso großzügiger unterstützt, je höher in einem Bieterverfahren der Zuschlag ersteigert wird, wobei der Verkauf der Solarwärme die Wirtschaftlichkeit

noch verbessert. Jede ST-Technologie zeigt in dem für sie jeweils passenden Temperatur- und Preissegment eine ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit. Jedoch gegenüber anderen EE benachteiligt das KWKG die ST, weil nur diese die Wirtschaftlichkeit schmälernde Sicherheiten bedenken muss, damit Wetterschwankungen nicht penalisiert werden. Indem das KWKG die ST, die aufgrund der höchsten Jahresarbeitszahlen das höchste CO<sub>2</sub>-Einsparpotential hat, mit allen EE-Wärmequellen auf eine Stufe stellt, bestraft es deren geringen Bedarf an Arbeitsenergie. Denn bedenkt man, dass die Hilfsenergie von der mit KWK erzeugten Elektroenergie, für deren Netzeinspeisung es die fixe Marktprämie ja überhaupt nur gibt, bilanziell abgezogen werden müsste, dann bezieht sich diese Prämie auf immer weniger KWK-Strom, der dem Netz effektiv verbleibt, wodurch sich die effektive iKWK-Förderung von Wärmepumpen gegenüber der Förderung von ST vervierfachen kann. Da die JAZ einfach messbar ist und hinsichtlich der Vermeidung von Antriebsenergie und dem vermeidbarem CO<sub>2</sub> einen gut verständlichen Bilanzcharakter hat, lohnt es sich, bei einer ernsthaften Verfolgung des Klimaziels über Antriebs- und Hilfsenergie mehr nachzudenken.



**Abb. 6: Zwei Kollektorfelder für Fernwärme in Erfurt**

### **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](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/KWK/BeendeteAusschreibungen/BeendeteAusschreibungen_node.html)

/3/ ScenoCalc-Download:

<http://www.sp.se/en/index/services/solar/ScenoCalc/Sidor/default.aspx> und SCFW-Download <https://www.scfw.de/>

### **Fotos und Abbildungen**

Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG