

Innovative KWK mit Solarthermie

Dr. Rolf Meißner

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

r.meissner@ritter-xl-solar.de

Zusammenfassung

Als erneuerbare Energie (EE) mit dem größten CO₂-Sparpotential scheint die Solarthermie (ST) prädestiniert dafür zu sein, bei sog. innovativer Kraft-Wärme-Kopplung 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_{el} statt mit maximal 70 €/MWh_{el} 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 _{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	59,50	65,40	72,20	
Mehrstromerlös 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	
Äquivalent an Kollektorfläche CPC-VRK (bei 450 €/m ²)	m ²	7.397	8.130	8.537	
Äquivalent an solarer Netzwärme (bei 0,5 MW _{th} /m ² a)	MW _{th} / aMW _{el}	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_{el}, wenn man diesen Mehrstrompreis über 45.000 VBh und die zusätzlich vergüteten 15.000 VBh zum Einspeisetarif von 39,5 €/MWh_{el} zusammenzählt:

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

Eine CPC-VRK-Solaranlage würde so mit 450 €/m² und 0,5 MWh/m²a mehr als dreimal getilgt, wenn sie zur Sicherheit auf 33 % EE-Anteil (statt der geforderten 30 %) überdimensioniert wird und die Stromkennzahl der KWK σ z. B. $\sigma = \frac{Q'_{el}}{Q_{th}} = 1$ 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_{th} pro 1000 Euro der Investition, so dass sie bei einem Wärmeverkaufspreis von z. B. 80 €/MWh_{th} 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 Q_{th}^{Ref} , die mit iKWK jährlich mindestens erbracht werden muss, setzt sich zu 70 % zusammen aus KWK-Wärme und zu 30 % aus EE-Wärme:

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

Vergleich der Förderprogramme für Solaranlagen

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

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

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

nur die ST bedroht, weil es andere EE wie Geothermie oder Wärmepumpen 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 Förde-

zung um 10 %, weil die fixe Marktprämie immer gleich bleibt. Für die Stromkennzahl $\sigma=1$ wird in Tabelle 2 die iKWK-Förderung nun mit der Förderung der ST im Marktanreizprogramm MAP verglichen.

Parameter zur Solarthermieanlage	Einheit	iKWK		MAP		iKWK		MAP	
		GU	GU	KU	KU	GU	GU	KU	KU
CPC/VRK-Hochleistungskollektoren									
Flachkollektor									
Maximale Investitionsförderung zu Beginn ⁽¹⁾	%	0	45	65	0	45	0	45	65
spez. Investitionskosten	€/m ²	450	450	450	350	450	350	450	350
spez. solarer Netzwärmeertrag	MWh _{th} /m ² a	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
solare Netzwärme (auf 1 Ertragsjahr gelegt)	€/ (MWh _{th} /a)	900	900	900	1.167	1.167	1.167	1.167	1.167
Stromkennzahl $\sigma = Q'_{el} / Q'_{th}$ (KWK)	σ	1	-	-	1	-	1	-	-
Referenzwärme	Q' _{th}	MWh _{th} /MW _{el}	4.286	-	-	4.286	-	4.286	-
Kollektorfläche pro MW _{el} (0,3 Q' _{th})	m ² /MW _{el}	2.571	-	-	4.286	-	4.286	-	-
Kollektorfläche mit 10 % Sicherheit	A _{Koll}	m ² /MW _{el}	2.829	-	-	4.714	-	4.714	-
Mehrstrompreis für EE-Anteil bei iKWK	€/MWh _{el}	72,2	0	0	72,2	0	72,2	0	0
Mehrstrompreis für Mehrstrompreis (45.000 VBh)	€/MWh _{el}	3.249.000	-	-	3.249.000	-	3.249.000	-	-
Strompreis nichtinnovativer KWK (Stand 07/2019)	€/MWh _{el}	39,5	0	0	39,5	0	39,5	0	0
Mehrstrompreis für Mehrstrom (15.000 VBh)	€/MWh _{el}	592.500	-	-	592.500	-	592.500	-	-
fixe Marktprämie für die EE-Wärme (MEP + MEZ)	€/MWh _{el}	3.841.500	-	-	3.841.500	-	3.841.500	-	-
Investitionskosten in EE pro MW _{el} mit 10 % Sicherheit	€/MWh _{el}	1.272.857	-	-	1.650.000	-	1.650.000	-	-
Eigenanteil an der Investition (EEK - IMPEE)	€/MW _{el}	-2.588.643	-	-	-2.191.500	-	-2.191.500	-	-
EE-Wärmeförderung (auf 1 Ertragsjahr gelegt)	€/ (MWh _{th} /a)	2.716	405	585	2.716	405	2.716	405	525
Förderung pro Kollektorfläche	€/m ²	1358	203	293	816	215	816	215	158
Effektive EE-Wärme (EWWK - EWWF)	€/ (MWh _{th} /a)	-1816	-	-	-1550	-	-1550	-	-

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 nach Tabelle 1 fördert iKWK die CPC-VRK-Solaranlage 6,7-mal intensiver als das (umgekehrt) ertragsabhängige 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 wird aber über 20 bis 30 Jahre bei sehr niedrigen Betriebskosten erzielt. Ohne Sicherheitszuschlag beträgt die Förderung gemäß Tabelle 3 maximal 2.988 Euro pro EE-MWh_{th}/Jahr, d. h. 7,4-mal mehr als die von der AGVO (auf 405 €/ (MWh_{th}/a) gekappte Förderung im MAP.

iKWK-Förderung in Abhängigkeit von Q' _{el} /Q' _{th} (KWK) und Sicherheit S bei einem Mehrstrompreis von 72,2 Euro / MWh (el.) und einem (nichtinnovativen) KWK-Preis von 39,5 Euro / MWh (el.), bezogen auf 1 Ertragsjahr [Euro/(MWh (th.) / a)]				
S [%]	0%	5%	10%	15%
$\sigma = Q'_{el} / Q'_{th}$				
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 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 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.

Vergleich von Kolleorttechnologien

Die notwendige Kollektorfläche A_{Koll} ergibt sich aus der Referenzwärme Q_{th}^{Ref}, der Sicherheit S von z. B. 10 %, den Solar-Keymark-Zertifikaten Q_{SolarKeymark}^{Würzburg}(T_m) für Würzburg in Abhängigkeit von der mittleren Kollektor-temperatur T_m und konservativ angenommenen Wärmeverlusten von z. B. 2 kWh/m²aK ab T_m = 15 °C.

$$A_{Koll} = \frac{0,3 (1 + S) Q_{th}^{Ref}}{Q_{SolarKeymark}^{Würzburg}(T_m) - 2 \frac{kWh}{m^2Ka} (T_m - 15 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

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]. Wenn die mittlere Netztemperatur 5 K unter der T_m liegen, sind für typische 75 °C mittlere Netztemperatur T_m = 80 °C erforderlich. Wie die Referenzwärme bezieht sich die Kollektorfläche hier auf eine KWK-Leistung von 1 MW_{el}. Abb. 2 zeigt die notwendigen Kollektorflächen für den CPC-VRK (Zertifikat 011-7S2425 R), für den aktuell besten Flachkollektor (Zertifikat 011-7S2689 F) und dem weltweit vermutlich am häufigsten eingesetzten Flachkollektor (Zertifikat SPSC0841-14).

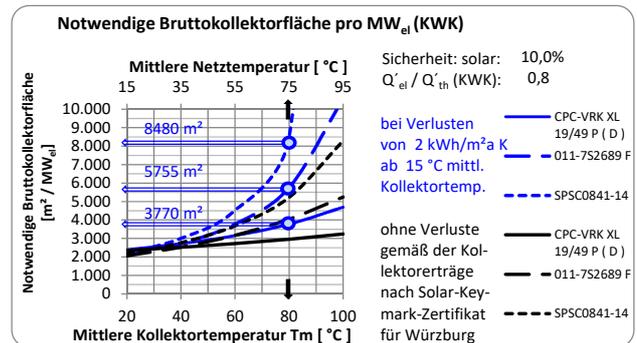


Abb. 2: Mittlere Netztemperatur und notwendige Kollektorfläche pro MW_{el} bei iKWK für 3 Kollektoren

Zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Solartechnologien soll der Eigenanteil an der Investition untersucht werden. Das ist der verbleibende Investitionsbetrag nach Abzug der aktuellen fixen Marktprämie für die EE-Wärme (fMPEE = 3,84 Mio €/MW_{el}). Die Investitionskosten sind genauso abhängig von der mittleren Netztemperatur wie die Kollektorflächen. Die folgenden 3 Diagramme zeigen den Eigenanteil der 3 Kollektoren an der Investition für iKWK-Anlagen mit 1 MW_{el}, einer Stromkennzahl σ von 0,8 und 10 % Sicherheit bei 4 verschiedenen Kostenszenarios.

Der blaue Punkt in Abb. 3 zeigt bei T_m = 80 °C $2,145 \frac{\text{Mio } \text{€}}{\text{MW}_{el}} = 3,842 \frac{\text{Mio } \text{€}}{\text{MW}_{el}} - 450 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \times 3.770 \frac{\text{m}^2}{\text{MW}_{el}}$ als Eigenkosten. Der Quadratmeter Kollektorfläche dürfte aktuell 1.019 Euro kosten, bis ein positiver Eigenanteil an der Finanzierung entstünde.

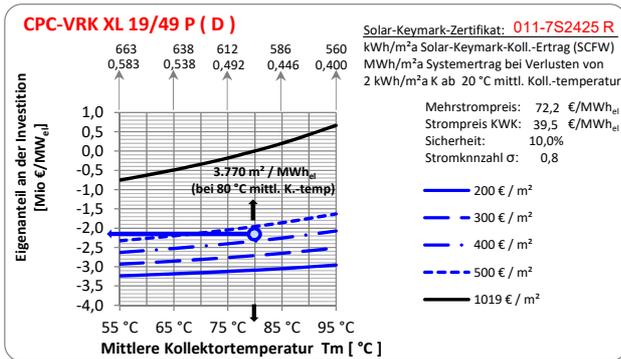


Abb. 3: Wirtschaftlichkeit eines Hochleistungskollektors (CPC-VRK) beim Einsatz mit iKWK

Für den aktuell besten Flachkollektor zeigt Abb. 4 eine wesentlich deutlichere Abhängigkeit von der mittleren Kollektor- bzw. Netztemperatur. Hier darf die Anlage für denselben Eigenanteil wie beim CPC-VRK aber nur noch 295 €/m² kosten und benötigt 5.755 m² Fläche. Bis 668 Euro/m² wäre die Solaranlage aktuell nach 15 Jahren vollständig von der Mehrstromprämie für EE bezahlt.

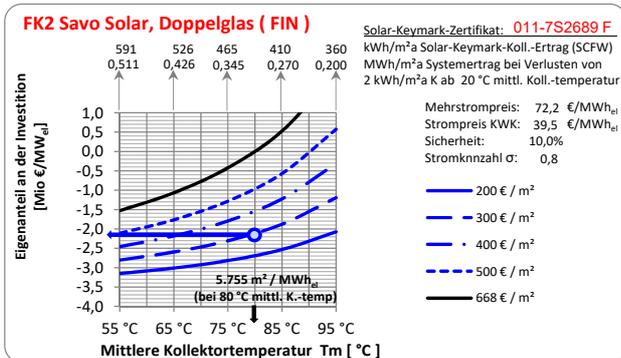


Abb. 4: Vergleich Wirtschaftlichkeit CPC-VRK (Abb. 3) mit dem besten Flachkollektors (Stand 07/2019)

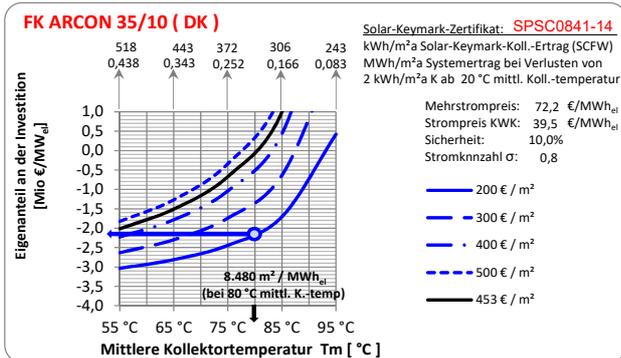


Abb. 5: Vergleich Wirtschaftlichkeit CPC-VRK (Abb. 3) mit einem sehr häufig eingesetzten preiswerten FK

Abbildung 5 zeigt, dass sehr preiswerte Kollektoren nur bei niedrigen Temperaturen und/oder Preisen mithalten können. Unter denselben aktuellen Beispielbedingungen benötigen 8.480 m² Kollektorfläche und dürfen nur noch 200 €/m² kosten und. Ein Eigenanteil des Investors ergäbe sich aktuell ab einem Kollektorpreis von 453 €/m². Es ist ein wirtschaftlicher und mehr noch ein Effizienznachteil, dass der beste Flachkollektor bei den typischen (Beispiel-) Bedingungen mit 75 °C mittlerer Wärmenetztem-

peratur ca. 50 % mehr Bruttokollektorfläche benötigt als der CPC-Vakuumröhrenkollektor und der preiswerte Flachkollektor sogar das 2,25-Fache davon. Aber trotz Sicherheitsaufschlag S zeigen alle 3 Solaranlagen als EE-Wärme für iKWK in dem für sie jeweils passenden Temperatur- und oder Preissegment eine ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit.

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. Bei einem 100-Meterlauf wäre es so, als würde der Wärmepumpe (bei einer JAZ von 1,25 bis 4) gegenüber einer ST-Anlage mit einer JAZ von 100 ein Vorsprung von 92 bis 98,8 Meter bis zum Klimaziel eingeräumt. Dabei besteht ein starker Zusammenhang zwischen der JAZ und der iKWK-Förderung. Die Jahresarbeitszahl JAZ ist das Verhältnis von EE-Wärme zur Hilfs- und/oder Antriebsenergie, die zur Gewinnung der EE-Wärme erforderlich ist.

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

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

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

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

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

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

$\eta_{iKWK}^{EE} = \left(1 - \frac{0,3}{0,7\sigma JAZ} \right)$ als iKWK-Wirkungsgrad zur Erzeugung der EE-Wärme oder iKWK-Gütegrad verstanden werden kann, der mit der JAZ und mit σ ansteigt, siehe Tab. 4.

Wirkungsgrad η_{iKWK}^{EE} der iKWK-Stromerzeugung nach Abzug der Antriebsenergie für EE-Wärmegewinnung		Wärmepumpen				Solarthermie	
		1,25	2	4	10	50	100
$\sigma = Q_{el} / Q_{th}$	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
	0,4						

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_{el} auf die nach Abzug des Eigenleistungsbedarfs verbleibende effektive elektrische iKWK-Leistung $Q'_{el}{}^{eff}$, dann wird die effektive fixe Marktprämie $f_{MPEE}^{eff}(JAZ, \sigma) = \frac{f_{MPEE}}{\eta_{iKWK}^{EE}}$ für EE-Wärme umso attraktiver, je kleiner die JAZ und je kleiner die Stromkennzahl σ sind.

Effektive fixe Marktprämie für EE-Wärme f_{MPEE}^{eff} in Mio Euro pro MW _{el} Anschlussleistung						
JAZ	Wärmepumpen			Solarthermie		
$\sigma = Q_{el}/Q_{th}$	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

Tabelle 5: Effektive fixe Marktprämie für EE-Wärme pro MW_{el} 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 $JAZ \rightarrow \infty$.

Effektive fixe Marktprämienaufschlag für EE-Wärme gegenüber $f_{MPEE}^{eff}(JAZ = \infty)$ in Prozent						
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%

Tabelle 6: Effektiver Marktprämienaufschlag für EE-Wärme pro MW_{el} in Abhängigkeit von der JAZ

Bei einer JAZ von 1,25 besteht die EE-Wärme zu 80 % aus Antriebsstrom, so dass kein allzu großer Unterschied mehr zu Power-to-Heat besteht. Wenn dieser Strom nicht immer vollständig aus erneuerbaren Quellen stammt, dann kann er sogar ganz schnell das Vorzeichen der CO₂-Bilanz der damit gewonnenen EE-Wärme kippen. Versteht man das Stromsparen als Maß für das CO₂-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 CO₂-Vermeiden gelingt. 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.

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 $Q_{th}^{Ref} = \frac{Q_{th}^{KWK}}{0,7}$, 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 6 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.

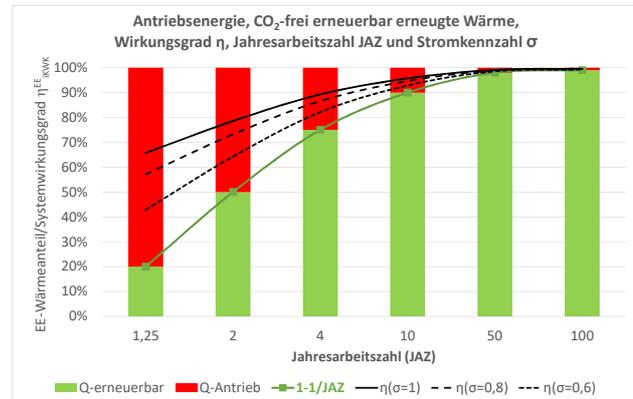


Abb. 6: Anteile Antriebsenergie und CO₂-frei erneuerbar erzeugte Wärme sowie Wirkungsgrad allgemein ($\eta_{el}^{EE} = 1 - 1/JAZ$) und bei iKWK ($\eta_{iKWK}^{EE}(\sigma; JAZ)$)

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-Wärmeanlage 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 bei hohen Temperaturen sehr hochwertige Wärme geliefert wird, ohne dass Wärmepumpen notwendig sind oder die Effizienz anderer Wärmeerzeuger darunter leidet (z. B. bei Rücklaufanhebung).

Tabelle 4 und Abb. 6 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-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 einzu-

beziehen. 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:

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

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:

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

Konkret hieße das, dass z. B. 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, X Stunden der Marktprämie zum Strom-Zuschlagspreis als Pönale zu zahlen sind oder X 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

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 bei den aktuellen Vergabeergebnissen in dem für sie jeweils passenden Temperatur- und/oder 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 pönalisiert werden. Indem das KWKG die ST, die aufgrund der höchsten Jah-

resarbeitszahlen das höchste CO₂-Einsparpotential hat, mit allen EE-Wärmequellen auf eine Stufe stellt, bestraft es deren geringen Bedarf an Arbeits- und Hilfsenergie. Denn bedenkt man, dass die Hilfsenergie von der mit KWK erzeugten Elektroenergie, für die 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 zur Verfügung gestellt wird, wodurch sich die effektive iKWK-Förderung von Wärmepumpen gegenüber der Förderung von ST mehr als verdoppeln kann. Da die JAZ ein genau messbarer Parameter ist und hinsichtlich der Vermeidung von Antriebs- und Hilfsenergie und dem zu deren Erzeugung vermeidbarem CO₂ einen verallgemeinernden, gut verständlichen Bilanzcharakter hat, lohnt es sich, bei einer intensiveren Verfolgung des Klimaziels auch über eine erweiterte Interpretation von Hilfsenergie nachzudenken.

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

/3/ ScenoCalc-Download: <http://www.sp.se/en/index/> und SCFW-Download <https://www.scfw.de/>

Fotos und Abbildungen

Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG