# Thermische Solaranlagen für Wärmenetze, Teil 4 Wärmewende mit innovativer KWK und flexibler Solarthermie

Dr. Rolf Meißner Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Kuchenäcker 2, 72135 Dettenhausen <a href="mailto:r.meissner@ritter-xl-solar.de">r.meissner@ritter-xl-solar.de</a>

### Zusammenfassung

Noch nie zuvor gab es eine zielorientiertere und 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. Umso mehr muss hinterfragt werden, warum bei allen der 13 iKWK-Zuschläge bis 7/2019 die Solarthermie neben der Wärmepumpe bisher noch nicht einmal endgültig zum Zuge kam.

Wenn iKWK einen Großteil des Netzwärmebedarfs liefern soll, müssen Solarwärmeüberschüsse eingeplant werden. Die Speicherung dieser Überschüsse ist jedoch schon ab einem solaren Jahresdeckungsgrad von ca. 10 % unwirtschaftlich, sofern der dafür notwendige Speicher nicht schon vorhanden, sondern Teil der Investition in die Solaranlage ist. Dazu muss das Kollektorfeld flexibel, d. h. jederzeit wie ein konventioneller Wärmeerzeuger abschaltbar sein. Hochleistungs-Solaranlagen arbeiten vorzugsweise mit Fernwärmewasser, speisen möglichst immer in den Vorlauf des Wärmenetzes und tolerieren Abschaltung oder Trennung vom Netz als normalen Betriebszustand sowie auch eine in der Folge bei starker Sonneneinstrahlung auftretende "thermische Stagnation". Diese Betriebsweise macht unwirtschaftliche Speicherauslegungen oder Notkühleinrichtungen überflüssig.



Abb. 1: Kollektorfeld für Fernwärme in Senftenberg

Solarwärme ist als Ergänzungs-EE zur KWK für Wärmenetze nach der "Verordnung zu Ausschreibungen von KWK-Anlagen und innovative KWK-Systeme..." (KWKG /1/) bestens geeignet. Ökonomisch sollte sie mit Wärmepreisen von 20 bis 35 Euro/MWh bei Förderung im Marktanreizprogramm (MAP) schon lange sein, wäre Wärme nicht so oft im Überfluss vorhanden. Technisch übertrifft Hochleistungssolarthermie mit einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von ca. 100 den Anspruch des Gesetzgebers an das "i" zur KWK gleich um Faktor 80, denn ab einer JAZ von 1,25 gilt nach KWKG eine EE bereits als innovativ. Zudem liefert sie mühelos exergetisch hochwertige Wärme bei den für deutsche Wärmenetze typischen Netztemperaturen und Temperaturspreizungen, was Geothermie oder Wärmepumpen deutlich schwerer fällt. Bei Anwendung des KWKG als Förderinstrument anstelle des MAP wird die Investition in eine Solaranlage allein mit dem (maximalen) Strom-Einspeiseaufschlag von 50 €/MWh<sub>el</sub> bis zu ca. zweimal getilgt. Weil diese Förderung gewissermaßen in 15 Jahresraten eingeht, amortisiert sie sich erstmals nach ca. 6 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, siehe Tabelle 1.

Parameter zur Solarthermieanlage	Einheit	iKWK	MAP GU	MAP KU	iKWK	MAP
		CPC-VR-H	CPC-VR-Hochleistungskollektoren		Flachkollektor	
Q' <sub>el</sub> / Q' <sub>th</sub> (iKWK)		1	-	-	1	-
Mehrerlös für Strom	€/MWh <sub>el</sub>	50	0	0	50	0
Investitionsförderung zu Beginn 1)	96	0	45	65	0	45
Investitionsförderung mit Stromverkauf	96	177	-	-	136	-
Mindestanteil EE (KWKG)	96	30	-	-	30	-
Betrachtungszeitraum	Jahre	25	25	25	25	25
spez. Investitionskosten	€/m²	450	450	450	350	350
spez solarer Netzwärmeertrag	MWh <sub>th</sub> /m²a	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3
Erzeugerpreis für Solarwärme (25 Jahre)	€/MWh <sub>th</sub>	-27,6	19,8	12,6	-17,0	25,7
Verkaufspreis für Solarwärme (ohne Inflation)	€/MWh <sub>th</sub>	80	80	80	80	80
geförderte Wärme (45.000 VBh)	€/MW <sub>el</sub>	2.250.000	-	-	2.250.000	-
Referenzwärme (3000 VBh/a, 30 % EE)	MWh <sub>th</sub> /MW <sub>el</sub>	4.286	-	-	4.286	-
Kollektorfläche pro MW <sub>el</sub> (3000 VBh/a, 30 % solar)	m²/MW <sub>el</sub>	2.571	-	-	4.286	-
Kollektorfläche mit 10 % Sicherheit	m²/MW <sub>el</sub>	2.829	-	-	4.714	-
Investitionskosten pro MWel mit 10 % Sicherheit	€/MW <sub>el</sub>	1.272.857	-	-	1.650.000	-
Amortisationszeit über Wärmeverkauf	Jahre	11,3	6,2	3,9	14,6	8,0
Amortisationszeit über Stromverkauf	Jahre	8,5			11,0	
Amortisationszeit (Wärme- und Stromverkauf)	Jahre	6,3			8,1	
ROI (Return on Investment) in 25 Jahren		oo 2)	4,0	6,3	≈ 2)	3,1
Förderung pro Kollektorfläche	€/m²	795	203	293	477	158
Eigenanteil an der Investition	€/MW <sub>el</sub>	-977.143			-600.000	
Eff. Wärmekosten (Kosten - Förderung, auf 1 Jahr gelegt)	€ / (MWh <sub>a</sub> /a)	-691			-424	
Netzwärmekosten (auf 1 Ertragsjahr gelegt)	€ / (MWh <sub>tr</sub> /a)	900	900	900	1.167	1.167
Netzwärmeförderung (auf 1 Ertragsjahr gelegt) 3) 4)	€ / (MWh <sub>tr</sub> /a)	1.591	405	585	1.591	525

Tabelle 1: 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.
- 2) Da der Investor die Anlage über 15 Jahre bis zu ca. 1,8-mal vergütet bekommt, bleiben ihm nur die Kapitalund Grundstückskosten. Wenn die Investition samt aller Nebenkosten kleiner sind als die Förderung, geht der ROI (Return on Investment) gegen unendlich.
- 3) Die sog. ertragsabhängige MAP-Förderung bezieht sich dagegen mit 450 €/(MWh/a) auf den nach Solar-Keymark für Würzburg bei 50 °C mittlerer Kollektortemperatur zertifizierten, viel größeren Kollektorertrag.
- 4) iKWK-Förderung ist eine technologieneutrale System-(bzw. Nutz- oder Netzwärme-) Ertragsförderung von max. 1750 € pro MWh<sub>th</sub>/a bzw. von 1591 €/(MWh<sub>th</sub>/a), wenn die Solaranlage mit 10 % Sicherheit geplant wird, die nicht von der AGVO beschnitten werden kann.

Die Tabelle berücksichtigt keine Inflation, welche das Ergebnis nur verbessern könnte, denn die Sonne scheint umsonst, ihre Wärme wird aber verkauft. Die sog. ertragsabhängige Investitionsförderung im MAP für solarthermische Netzwärme ist mit maximal 45 % für Großunternehmen (GU) um Faktor 3 bis 4 unattraktiver. Bei ei-

nem Strommehrerlös von 50 €/MWh<sub>el</sub> berechnet sich die iKWK-Förderung wie folgt:

Förderung 
$$\left[\frac{\epsilon}{\text{MWh}_{th} / \text{Jahr}}\right] = \frac{Q'_{et}}{Q'_{th}} \frac{15 \text{ Jahre 50}}{30\% (1 + S [\%])} \frac{\frac{\epsilon}{\text{MWh}_{el}} (1 - 30\%)}{30\% (1 + S [\%])}$$
.

iKWK-Förderung in Abhängigkeit von Q´el/Q´th (KWK) und Sicherheit S bei 50 € / MWh (el.), wie beim MAP auf 1 Ertragsjahr bezogen [ €/(MWh/a) ]						
S [ % ] Q' <sub>el</sub> /Q' <sub>th</sub>	0%	5%	10%	15%		
1	1750	1667	1591	1522		
0,8	1400	1333	1273	1217		
0,6	1050	1000	955	913		

Tabelle 2: iKWK-Förderung auf 1 Ertragsjahr bezogen

Ohne Sicherheitszuschlag beträgt sie bei Q'el = Q'th mit 1750 Euro pro EE-Megawattstundeth/Jahr etwa 4,5-mal mehr als die von der AGVO (auf 405 €/(MWh<sub>th</sub>/a) gekappte Förderung im MAP. Wozu Sicherheit? Für jeden Prozentpunkt der Referenzwärme (= 3000 h/a Q'th / 0,7), um den der EE-Anteil das 30 %-Ziel verfehlt, sind 300 Stunden Einspeisevergütung als Pönale zu zahlen, also maximal 36.000 Euro pro Prozentpunkt und Jahr bzw. 840 €/MWh<sub>th</sub> (= 70 % x 36.000 €/a / 3000 h/a Q′<sub>th</sub>). Von dieser Pönale ist aber nur die Solarthermie bedroht, weil andere EE wie Geothermie oder Wärmepumpen es in der Hand haben, wie viel sie einspeisen, Solarwärme wetterbedingt aber von Jahr zu Jahr um +/- 10 % schwanken kann. Deshalb müssen nur Solaranlagen um mindestens 10 % größer gebaut werden als es für EE ST = 30 % notwendig wäre, was die Förderung um 10 % schmälert. Das KWKG könnte dieser einseitigen Benachteiligung von Solarwärme auf drei Wegen abhelfen:

- 1. Abrechnung des EE-Anteils bei Solarthermie (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. maximal 2 % p. a. der EE dürfen aus PtH (Power to Heat) von EE-Strom kommen, denn ein entsprechender Stromkessel ist sowieso bereits eine iKWK-Vorgabe.

Aber es ist ein Irrtum zu glauben, dass in der jährlichen Pönalisierung der EE-Mindererträge das größte oder einzige Hemmnis für die Solarthermie im KWKG liegt, denn solange die JAZ darin nicht anspruchsvoller definiert (aktuell 1,25) und deren Nichteinhaltung nicht genauso abschreckend hoch pönalisiert wird, wie das Verfehlen des EE-Anteils an der Referenzwärme, herrschen nicht einmal halbwegs paritätische Verhältnisse zwischen den verschiedenen EE. Bis Juli 2019 haben 13 EVUs innerhalb von ca. 13 Monaten den Zuschlag für iKWK bekommen, von denen sich noch kein einziges endgültig für Solarthermie entscheiden konnte, viele aber von vornherein für eine Wärmepumpe. Es ist allerdings auch ein ungleiches Rennen, dem sich die Solarthermie mit einer JAZ von 50 bis 100 hier stellen muss. Bei einem 100-Meterlauf wäre

es so, als würde der Wärmepumpe (bei einer JAZ von 1,25 bis 4) ein Vorsprung von 92 bis 98,8 Meter bis zum Klimaziel eingeräumt. Jedoch das Finden und die Genehmigung einer Aufstellfläche bleibt das größte Handicap für die Solarthermie gegenüber anderen EE.

Die iKWK-Förderung hängt neben dem KWK-Typ  $(Q'_{el}/Q'_{th})$  und dem Sicherheitsaufschlag S nur vom Ertrag ab, der erbracht werden muss. Die Wirtschaftlichkeit hängt dagegen von den Kosten der Solaranlage und vom Solarwärmeertrag ab. Sie kann anschaulich mit dem "Eigenanteil an der Investition" und mit den "effektiven Wärmekosten", das sind die auf ein Ertragsjahr umgelegten Eigenkosten, dargestellt werden, siehe Abb. 2. Die folgenden Diagramme kombinieren einfach nur die Solar-Keymark-Jahreserträge in Würzburg, eine konservative Annahme von Wärmeverlusten, einen iKWK-Strommehrerlös von 50  $\epsilon$ /MWh bei  $Q'_{el}/Q'_{th} = 0,8$  und 10 % Sicherheit bei 4 verschiedenen Kostenszenarios.

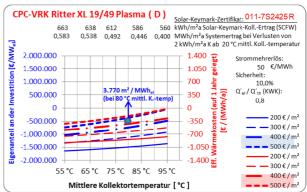


Abb. 2: Wirtschaftlichkeit eines Hochleistungskollektors (CPC-VRK) beim Einsatz mit iKWK

Im gesamten Preis- und Temperaturbereich liegen der Eigenanteil (blau) und die Wärmekosten (rot) im Negativen und negative Kosten sind Gewinn. Der blaue Punkt zeigt, dass für Eigenkosten von z. B. -0,5 Mio € pro MWh<sub>el</sub> (also für 0,5 Mio €/MWh<sub>el</sub> Vergütung über die Investitionskosten hinaus) bei einer mittleren Kollektortemperatur von 80 °C, das entspricht einer mittleren Netztemperatur von etwa 75 °C, die Solaranlage ca. 450 €/m² kosten darf, also 3.770 m²/MWh<sub>el</sub> x 450 €/m² = 1,7 Mio €/MWh<sub>el</sub>.

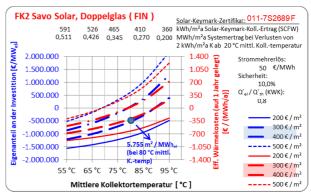


Abb. 3: Wirtschaftlichkeit des besten Flachkollektors (Stand 7/19) beim Einsatz mit iKWK

Für den aktuell besten Flachkollektor zeigt Abb. 3 eine wesentlich deutlichere Abhängigkeit von der mittleren Kollektortemperatur. Hier darf die Anlage mit 5.755 m<sup>2</sup> Fläche aber nur noch ca. 300 €/m² kosten, wenn wieder 0,5 Mio €/MWhel von der maximalen iKWK-Strommehrvergütung übrig bleiben soll. Sehr preiswerte Kollektoren können nur bei niedrigen Temperaturen und/oder Tiefstpreisen bestehen, siehe Abb. 4., und dürfen in dem Beispiel für -0,5 Mio €/MWh<sub>el</sub> bei 80 °C mittlerer Kollektor-, bzw. 75 °C Netztemperatur nur noch knapp über 200 €/m² kosten, wobei 8.480 m² Kollektorfläche benötigt werden. Es ist vor allem ein wirtschaftlicher, aber auch ein Effizienznachteil, dass der beste Flachkollektor bei den typischen (Beispiel-) Bedingungen am blauen Punkt ca. 1,53-mal mehr Bruttokollektorfläche benötigt als der CPC-Vakuumröhrenkollektor und der preiswerte Flachkollektor sogar das 2,25-Fache davon.

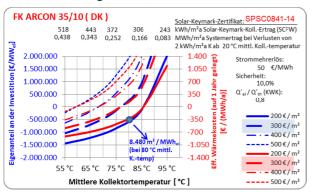


Abb. 4: Wirtschaftlichkeit eines preiswerten FK

Bei der Auslegung einer Solarthermieanlage gibt es drei Optima - ein volkswirtschaftliches, ein betriebswirtschaftliches und ein technisches, was an einem "Muster-Wärmenetz" mit 10 GWh<sub>th</sub> /Jahr am Standort Würzburg bereits ausführlich gezeigt wurde, siehe Abb. 5 /2/.

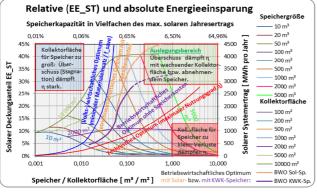


Abb. 5: Solarer Deckungsanteil und solarer Systemertrag in Abhängigkeit vom spezifischen Speichervolumen, alle Simulationen mit ScenoCalc bzw. SCFW /3/

Das technische Optimum liefert die Kollektorfläche und eine Speichergröße, bei der die gesamte Solarwärme genutzt wird. Schon bei kleinen Solaranteilen EE\_ST von unter 10 % wachsen dabei die notwendigen Speichergrö-

ßen ins ökonomisch Unwirtschaftliche. Am volkswirtschaftlichen Optimum wird möglichst viel Wärme mit geringstmöglichem Einsatz an Material und "grauer Energie" gewonnen. Dies führt zu sehr viel Wärmeüberschuss mit großen technischen Herausforderungen. Das betriebswirtschaftliche Optimum liegt dazwischen und beschreibt die Dimensionierung am Wärmepreisminimum, wobei zu unterscheiden ist, ob der Speicher zur Investition in die Solaranlage zählt oder nicht.

Was Abbildung 5 für das Musternetz mit 10  $GWh_{th}$  Jahresbedarf zeigt, lässt sich für beliebig große Wärmenetze verallgemeinern, wie Abbildung 6 und 7 zeigen.

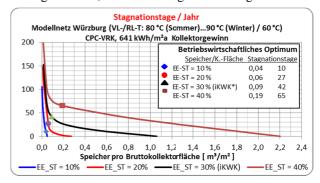


Abb. 6: Tage mit Wärmeüberschuss (Stagnation) bei solarem Deckungsgrad von 10 % bis 40 % in Abhängigkeit von der Speichergröße pro Kollektorfläche

Der Standort Würzburg bzw. dessen Wetter werden dazu beibehalten. Abbildung 6 zeigt, wie der notwendige Speicher ohne Stagnation mit dem solaren Deckungsgrad EE\_ST sehr schnell wächst. Für ikWK mit EE\_ST= 30 % ist kontrollierte Stagnation an ca. 40 Tagen pro Jahr betriebswirtschaftlich ratsam, denn das kostet nur ca. 9 % vom Kollektorertrag. Um Stagnation zu vermeiden, müsste der Speicher 11-mal größer sein, hätte dann aber auch so viel größere Verluste, dass vom zusätzlich gewonnenen Kollektorertrag wenig übrig bliebe.

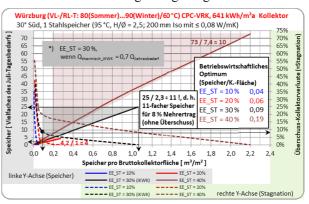


Abb. 7: Speicherkapazität als Vielfaches des Tagesbedarfs eines Julitages (linke Y-Achse und durchgezogene Kurven) sowie Kollektorertragsverluste durch Stagnation (Wärmeüberschuss, rechte Y-Achse und gestrichelte Kurven) bei solarem Deckungsgrad von 10 % bis 40 % in Abhängigkeit von der Speichergröße pro Kollektorfläche

Abbildung 7 zeigt, wie die Speicherkapazität und die Kollektorertragsverluste durch Stagnation vom Deckungsgrad und von der relativen Speichergröße abhängen. Für kleine Solaranteile (EE ST < 5...8 %) benötigen Wärmenetze keinen Speicher. Für EE ST = 10 % kann Stagnation noch mit ca. 50 Litern Speicher pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche weitgehend vermieden werden. Für EE ST = 20 % sind dafür bereits unwirtschaftliche 300 Liter / m² erforderlich, weshalb Bio-Solardörfer wie Büsingen, Ellern, Hallerndorf, Randegg usw. nur ca. 80-150 Liter / m<sup>2</sup> einsetzen und lieber 10 bis 30 Stagnationstage pro Jahr in Kauf nehmen bzw. auf bis zu 6 % Überschusswärme verzichten. Bei einem EE ST von ca. 30 % (iKWK) bleiben die Verluste durch Stagnation an insgesamt ca. 40 Tagen übers Jahr kleiner als 9 %, wenn pro Quadratmeter Bruttokollektorfläche mindestens 90 Liter Speicher eingesetzt werden. Das entspricht einer Speicherkapazität von ca. 2,3 Julitagen des Netzwärmebedarfs. Ohne Stagnation müssten das 11-Fache, ca. 25 Juli-Bedarfstage gespeichert werden. Bei EE ST = 40 % kommt es auch bei wirtschaftlichen 200 Litern/m² noch zu 65 Stagnationstagen mit mehr als 17 % Überschussverlusten pro Jahr, und zur Stagnationsvermeidung wären 2,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> notwendig, die Kapazität von 73 Juli-Bedarfstagen. Das ist zwar schon "Saisonalspeicherung", doch auch dieser Speicher wäre Ende Oktober bereits wieder leer. Die Diagramme 8a und 8b zeigen die notwendigen Größen für Kollektorfläche (CPC-VRK) mit zugehörigen sinnvollen Speichern für Solaranteile von 10 % bis 40 % für unterschiedliche Wärmenetzgrößen.

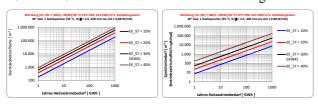


Abb. 8 a: Kollektorfläche b: Speichergröße für Netze von 1 bis 1000 GWh/a und EE\_ST bis 40 %

#### <u>Fazit</u>

Für Hochleistungskollektoren ist innovative KWK als echte ertragsabhängige Förderung ohne Einschränkung durch das EU-Beihilferecht die derzeit attraktivste Förderung, weil sie mit dem Strommehrerlös gegenüber einfacher KWK die Investition bei einem hohen Zuschlag (max. 12 Ct/MWh<sub>el</sub>) großzügig abdeckt und mit dem Verkauf der Solarwärme eine zusätzliche Wirtschaftlichkeit sichert. Ungeachtet dessen benachteiligt das KWKG Solarwärme gegenüber anderen EE, weil nur sie allein die Wirtschaftlichkeit schmälernde Sicherheiten bedenken muss, damit Wetterschwankungen nicht pönalisiert werden. Zusätzlich stellt das KWKG die Solarthermie trotz deren gegenüber Wärmepumpen mindestens 20-facher CO<sub>2</sub>-Einsparung für die Hilfs- bzw. Antriebsenergie mit

diesen auf dieselbe Stufe und pönalisiert das Nichterreichen einer Mindest-CO<sub>2</sub>-Einsparung nicht im Gegensatz zu der sehr hohen Pönalisierung beim Nichterreichen einer Mindestwärmemenge mit EE. Dazu kommt noch ihr größter Wettbewerbs- und Akzeptanznachteil, eine Aufstellfläche für die Kollektoren zu finden.

Mit dem Anteil erneuerbarer Wärme aus Solarthermie (EE ST) am Netzwärme-Jahresbedarf wachsen überproportional der Speicherbedarf und die wirtschaftliche Notwendigkeit, auf Solarwärmeüberschüsse im Sommer zu verzichten. Wenn das Prinzip der flexiblen Abschaltung auf das Großanlagenkonzept nicht anwendbar ist, wird bei höheren solaren Deckungsanteilen häufig ein sog. Niedertemperatur-Saisonal-Speicher mit einer Kapazität für mehrere Wochen oder Monate, z. B. als nahezu ungedämmter Erdbeckenspeicher eingesetzt, aus dem jedoch die meiste Wärme nur mit Hilfe einer Wärmepumpe wieder nutzbar ist und auch von Wärmeüberschüssen aufgrund hoher Verluste wenig übrig bleibt. Hingegen sind flexibel abschaltbare und stagnationssichere Solaranlagen mit verlustarmen und relativ kleinen Netztemperatur-Mehrtagesspeichern als wegweisende Alternative in Bio-Solardörfern seit langem erfolgreich im Einsatz. Nimmt man das Ziel "Efficiency first!" und die CO2-Einsparung als dessen Gradmesser ernst, ist flexible Hochleistungssolarthermie mit Netztemperaturspeichern gewiss eine Schlüsseltechnologie für die Wärmewende.



Abb. 10: 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/ Rolf Meißner: http://ritter-xl-solar.com/uploads/media/Thermische-Solaranlagen-Waermenetze Teil1 SHT5SOLAR.PDF

http://ritter-xl-solar.com/uploads/media/Thermische-Solaranlagen-fuer-Waermenetze-Teil2\_01.pdf http://ritter-xl-solar.com/uploads/media/Thermische-Solaranlagen-fuer-Waermenetze-Teil-3.pdf

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

## Fotos und Abbildungen

Ritter Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG