

# Thermische Solaranlagen für Wärmenetze, Teil 3

## Skalierung und Flächenoptimierung

Rolf Meißner

Ritter XL Solar GmbH, Ettlinger Str. 30, 76307 Karlsbad

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

### Einleitung und Rückblick

Teil 1 und 2 dieser Fachtextreihe untersuchten ein „Muster-“ Wärmenetz mit 10 GWh Jahreswärmebedarf am Standort Würzburg. Zur Dimensionierung der Kollektorflächen und Speicher wurden in Teil 1 zunächst ein technisches und ein volkswirtschaftliches Optimum identifiziert. Das **technische Optimum** liefert für beliebige Grade der Energieeinsparung ( $f_{\text{save}}$  oder „solarer Deckungsgrad“) die Kollektorfläche und eine Speichergröße, bei der die **gesamte** Solarwärme genutzt wird. Schon bei kleinen  $f_{\text{save}}$  von unter 10 % wuchsen dabei die notwendigen Speichergrößen ins ökonomisch Unwirtschaftliche. Am **volkswirtschaftlichen Optimum** wird möglichst viel Wärme mit möglichst geringem Einsatz an Material und „grauer Energie“ gewonnen. Dies führt zu sehr viel Wärmeüberschuss und damit zu großen technischen Herausforderungen. In der Flachkollektor-/Glykoltechnik müssen Wärmeüberschüsse vermieden oder durch sog. „Wärmerückführung“ an die Umwelt entsorgt werden. In der CPC-Vakuümrohrenkollektor-/Wassertechnik (fortan CPC-VRK) führen Wärmeüberschüsse zu Stagnation mit Dampfbildung und lokal hohen Temperaturen, was konstruktiv bedacht werden muss. Teil 2 untersuchte dann für CPC-VRK das **betriebswirtschaftliche Optimum**, das die Dimensionierung am jeweiligen Wärmepreisminimum beschreibt. Für das 10-GWh-Musternetz in Würzburg ergab sich bis zu einem  $f_{\text{save}}$  von knapp über 15 % ohne Förderung ein Wärmepreis von etwa 50 €/MWh, der ab 20 % steil wächst, um bei 140 bis 150 €/MWh solarthermische Autarkie zu versprechen, siehe Abb.1, rote Kurve. Für Teil 3 wird jetzt das Musternetz um 4 weitere Beispiele ergänzt. Die gestrichelten Linien zeigen wieder die solaren Wärmepreise, wenn der Speicher nicht zur Investition gehört, weil er z. B. als Biomasse- oder KWK-Speicher schon vorhanden ist. Die Jahreslast von 0,1 GWh repräsentiert ein sehr kleines Netz, könnte aber auch ein Mehrfamilienhaus, Krankenhaus oder ein Wohnkomplex mit ähnlichem Lastprofil sein. Der Wärmepreis ist bei  $f_{\text{save}}$  bis 25 % mehr als 50 % höher als beim 10-GWh-Netz und steigt ab 35 % in völlig unwirtschaftliche Höhen. Auch ein 1-GWh-Netz, ein 4-GWh-Netz und ein 100-GWh-Netz wurden ergänzend gerechnet. Letzteres passt schon zu einer Kleinstadt und führt zu einem deutlichen Skalierungseffekt hin zu günstigeren solaren Wärmepreisen, auch bei hohen und sehr hohen solaren Deckungsgraden  $f_{\text{save}}$ . Mit zunehmender Anlagengröße wird heute be-

reits absehbar der Stellflächenbedarf für Kollektoren und Speicher zum größeren Problem als der Wärmepreis.

### Variation des Netzwärmebedarfs

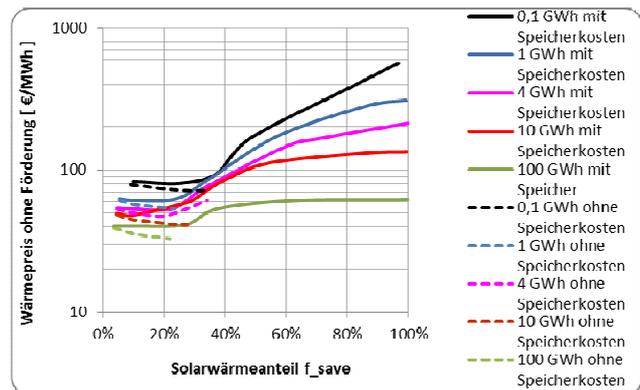


Abb. 1: FW-Wärmebedarf, Wärmepreis und  $f_{\text{save}}$  am betriebswirtschaftlichen Optimum

Der Speicherbedarf hängt am betriebswirtschaftlichen Optimum stark vom Gesamtwärmebedarf ab, siehe Abb. 3. Je größer der Wärmebedarf ist, umso früher, also bei kleineren  $f_{\text{save}}$ , beginnt der spezifische Speicherbedarf (pro Kollektorfläche) rasch anzuwachsen. Oder umgekehrt: Je kleiner die Anlage ist, umso rentabler ist es tendenziell, Überschusswärme besser nicht zu nutzen als sie zu speichern, selbst bei höherem  $f_{\text{save}}$ . Die Zahl der Tage mit Überschuss ist deshalb bei kleinen Anlagen am betriebswirtschaftlichen Optimum tendenziell größer, siehe Abb. 4. Ein Maximum von Stillstandstagen verschiebt sich mit abnehmendem Wärmebedarf hin zu immer höheren  $f_{\text{save}}$  (grüne gestrichelte Linie).



Abb. 2: Kollektorfeld für Fernwärme

Bei der 4-GWh-Anlage, z. B. einem typischen „Sonnenenergiedorf“, wird ab einem  $f_{\text{save}}$  von ca. 60 % das Speichern offenbar ökonomischer als der Verzicht auf

Überschüsse mit immer mehr Kollektorfläche. Die Autarkie wird hier zwar fast ohne Stillstand erreicht, jedoch bei über 8 m<sup>3</sup> Speicher pro Quadratmeter Kollektorfläche (bzw. ca. 80.000 m<sup>3</sup>!) und einem Wärmepreis von mehr als 200 €/MWh. Die zugrunde liegende Speicher- und Kollektorpreisbildung und -degression, die zu den betriebswirtschaftlichen Optima führen, wurde in Teil 2 vorgestellt.

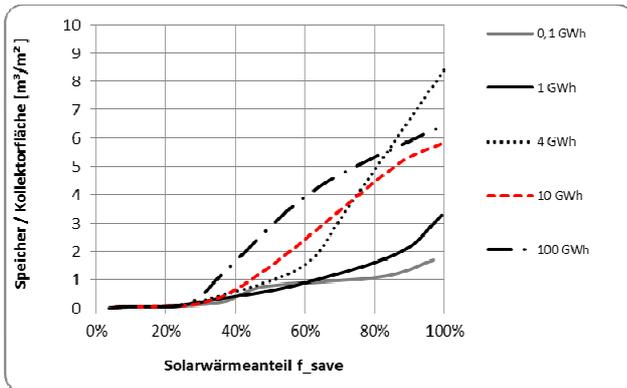


Abb. 3: Wärmebedarf, spezifischer Speicherbedarf und f\_save am betriebswirtschaftlichen Optimum

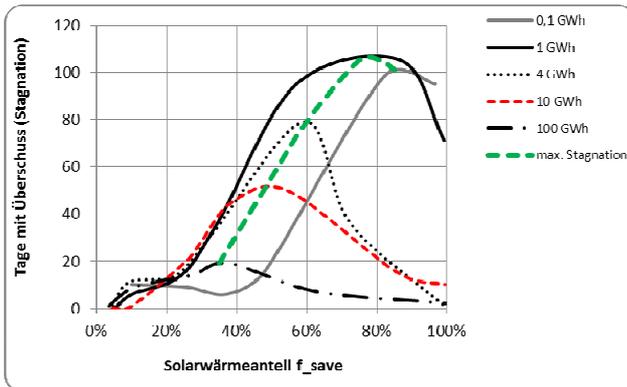


Abb. 4: Wärmebedarf, Tage mit Wärmeüberschuss und f\_save am betriebswirtschaftlichen Optimum

Ergänzend sollen noch die absoluten Größen der Kollektorflächen und Speicher genannt werden, die zu den Preis-Skalierungseffekten führen, siehe Abb. 5.

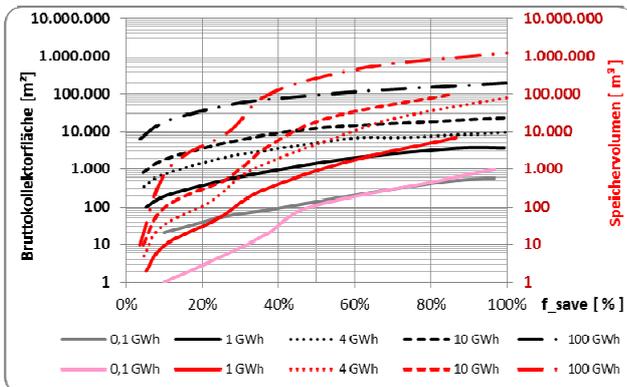


Abb. 5: Wärmebedarf, Speichervolumen, Kollektorfläche und f\_save am betriebswirtschaftlichen Optimum



Abb. 6: IBA-Projekt Energiebunker Hamburg, fsave<10%

### Ausrichtung und Neigung der Kollektoren

Bisher wurden ausgehend vom 10-GWh-Musternetz stets 30 Grad nach Süden ausgerichtete Kollektoren betrachtet. Mit dem Ziel der Maximierung des Wärmeertrags pro genutzter Grundfläche sollen nun die Kollektorerträge in Abhängigkeit von der Kollektorausrichtung und von der Selbstverschattung näher untersucht werden. Diese Betrachtungen werden in Anlehnung an die ACO (Annual Collector Outputs) der Solar-Keymark-Zertifikate und mit Rücksicht auf deutsche Netzverhältnisse für eine konstante mittlere Kollektortemperatur von 75 °C vorgenommen.

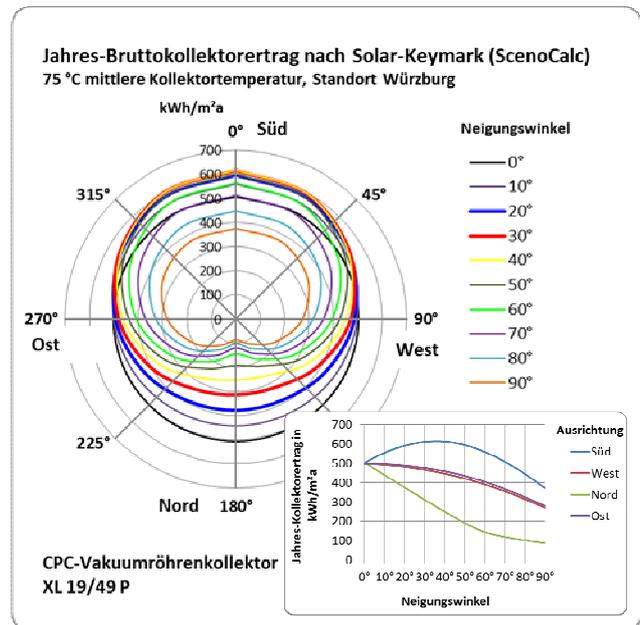


Abb. 7: Kollektor ertrag, Richtung und Neigung

Abbildung 7 zeigt, dass CPC-VRK bei dieser Temperatur aus jeder Himmelsrichtung und bei jeder Neigung einen Ertrag erzielen. Das Maximum von 613 kWh/m<sup>2</sup> liegt bei 30 bis 40 Grad Südausrichtung, das Minimum von 86 kWh/m<sup>2</sup> bei senkrechter Nordausrichtung (Nordfassade). Zum Vergleich sieht man in Abb. 8 die Erträge eines Flachkollektors mit Doppelverglasung beim Betrieb mit Wasser. Die kleinen Diagramme für die 4 Himmelsrichtungen

tungen in den Abb. 7 und 8 zeigen die Abhängigkeit beider Technologien von der Kollektorneigung, wobei sich die Röhrentechnik als unabhängiger erweist.

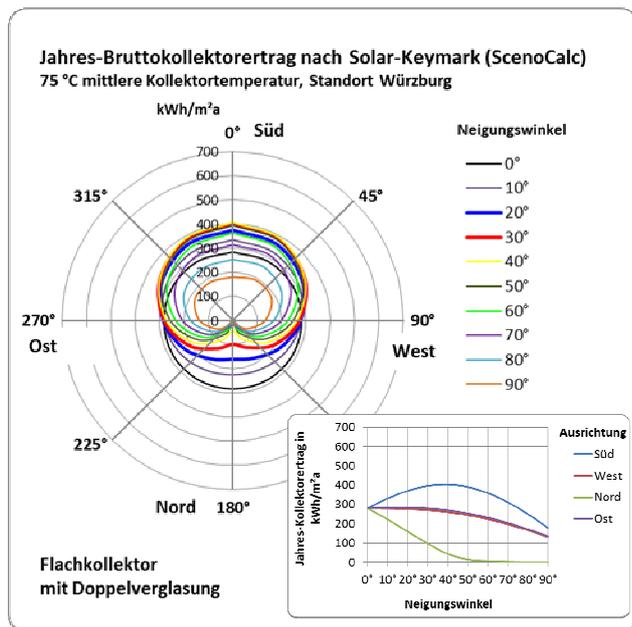


Abb. 8: Kollektorsertrag, Richtung und Neigung für einen Flachkollektor mit Doppelverglasung

Im Weiteren soll die Selbstverschattung untersucht werden, die dadurch entsteht, dass sich die Kollektoren gegenseitig in der Sonne stehen, wenn diese am Morgen und am Abend bzw. im Winter auch den ganzen Tag tief genug steht, siehe Abb. 9.

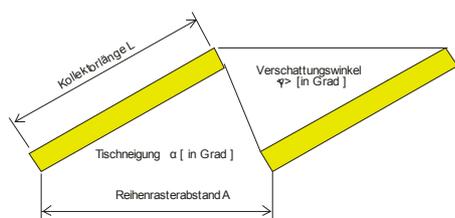


Abb. 9: Kollektorlänge und -Reihenrasterabstand  
Der Neigungswinkel ist fix, der Verschattungswinkel ist an der Kollektorerkante Null und wächst nach unten.

Die Selbstverschattung von Kollektoren ist kompliziert, weil sie nur die direkte Strahlung zu 100 % betrifft, weil der Verschattungswinkel über die Kollektorlänge nicht konstant ist, weil die Kollektoren an den Reihenrändern nur teilverschattet sind und die erste Reihe gar nicht und weil sich mit dem Tages- und Jahresgang der Sonne alles zyklisch ändert. Dies alles berücksichtigend bedeutet die „Selbstverschattung“ die relative Minderung des Kollektorjahresertrags durch Selbstverschattung für CPC-VRK in Mitteleuropa in Abhängigkeit von der Neigung  $\alpha$  nach Süden und dem Verhältnis aus Kollektorreihenrasterabstand und Kollektorlänge ( $A / L$ ), siehe Abb. 10 und 11.

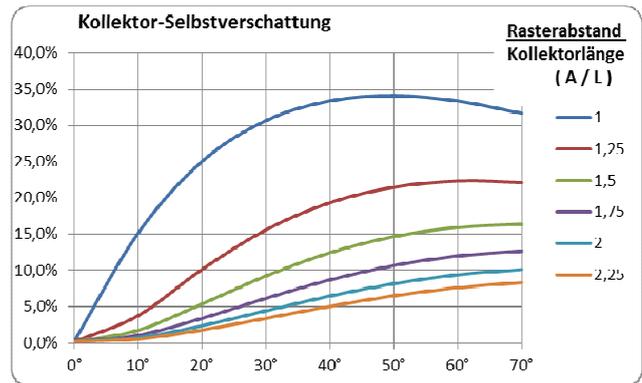


Abb. 10: Kollektorneigung, Selbstverschattung, Kollektorlänge und Kollektorreihenrasterabstand

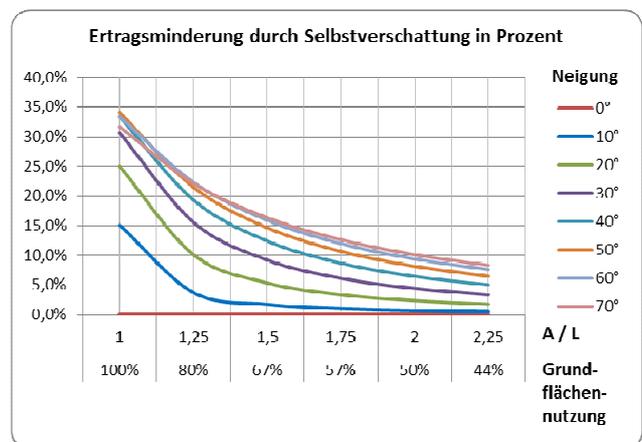


Abb. 11: Selbstverschattung, Kollektorneigung, -länge und Reihenrasterabstand bzw. Grundflächennutzung

Das Verhältnis  $A/L$  entspricht eindeutig einer Grundflächennutzung, wenn man Wege, Freiflächen und Sicherheitsabstände hier einmal unberücksichtigt lässt und Verschattung keine Rolle spielt.

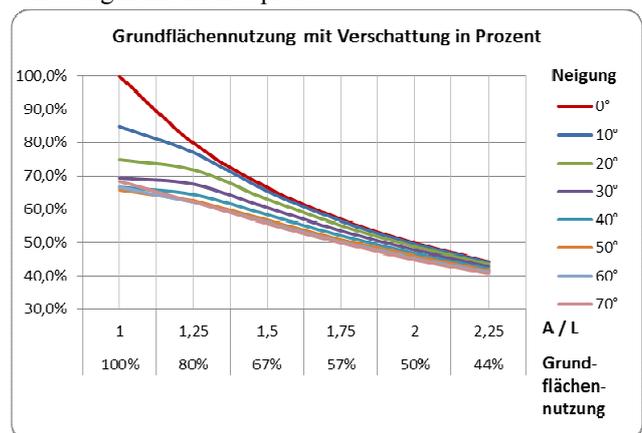


Abb. 12: Die Grundflächennutzung folgt aus Kollektorlänge und -reihenabstand und wird durch (Selbst-) Verschattung weiter reduziert

Tatsächlich ergibt sich durch die Reihenaufstellung und die dadurch verursachte Verschattung eine verminderte Grundflächennutzung, siehe Abb. 12. Das Produkt aus Grundflächennutzung mit Verschattung und Kollektor-

trag ohne Verschattung führt schließlich zum Grundflächenertrag, siehe Abb. 13 und 14, hier nur für Südausrichtung. Für verschiedene Kollektortechnologien ergibt sich eine unterschiedliche wirtschaftlichste Neigung.

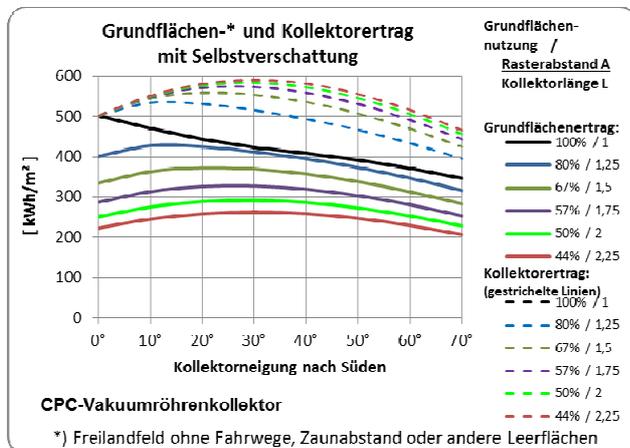


Abb. 13: Grundflächen- und Kollektorsertrag bei Südneigung und verschiedener Grundflächennutzung (CPC-VRK)

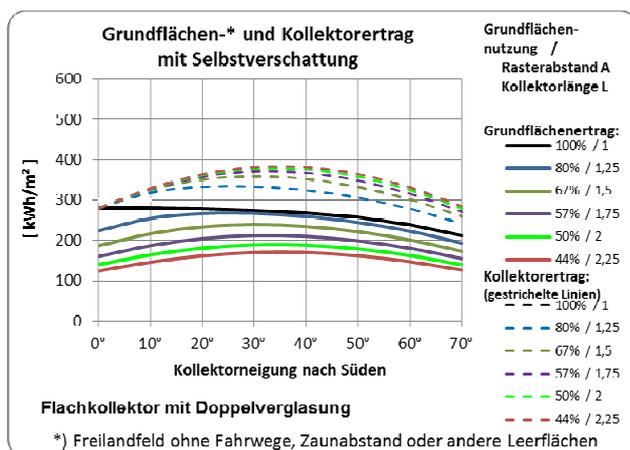


Abb. 14: Grundflächen- und Kollektorsertrag bei Südneigung und verschiedener Grundflächennutzung (Flachkoll.)

Zur maximalen Grundflächennutzung müssten Kollektoren theoretisch lückenlos horizontal angeordnet werden. Dies ist technisch nicht möglich, weil sie z. B. zur Selbstreinigung eine Mindestneigung benötigen, bei CPC-VRK z. B. 15°, und weil zu ihrer Montage und Verrohrung Mindestabstände notwendig sind. Für eine maximale Flächennutzung sollte der Rasterabstand 20 bis 30 % größer sein als die Kollektorlänge. Bei CPC-VRK führt eine Neigung von 15° bis 20° zur maximalen Grundflächennutzung, bei Flachkollektoren hingegen bei 25° bis 40°. Das Grundflächennutzungspotential ist demnach bei Flachkollektoren geringer, weil offensichtlich besser mehr Selbstverschattung in Kauf zu nehmen ist als Kollektorsertragsverlust durch flachere Einstrahlungswinkel. Zur Ergänzung ist in Abb. 13 und 14 noch der Kollektorsertrag dargestellt (gestrichelte Linien, gleiche Farben), denn die Kollektoren bestimmen den Wärmepreis i. d. R. viel mehr als der Grund und Boden. Wäre dieser beliebig

verfügbar, legte dies eine Neigung von 30° und einen großen Rasterabstand nahe, um über 95 % des Kollektorsertrags ohne Verschattung zu erzielen (vgl. Abb. 10). Aber Fläche ist kostbar und mit dem Rasterabstand wachsen nebenbei auch Kosten und Verluste der Verrohrung.



Abb. 15: Verschattungsarme Ständerung von CPC-VRK

In der Großanlagen-Photovoltaik findet man zunehmend flache Aufstellungen mit abwechselnder Ost-West-Ausrichtung. Vernachlässigt man die Selbstverschattung einmal ganz, denn sie ist bei dieser Anordnung sehr gering, dann können damit gegenüber einer Südausrichtung mit Selbstverschattung Mehrerträge nur bei lückenloser Grundflächennutzung erwartet werden. Jedoch bereits bei nur geringfügig reduzierter Grundflächennutzung bzw. kleinen Freiflächen zwischen den Kollektoren ist die Südausrichtung unschlagbar.

Kollektorsertrag in kWh/m²a bei 20° Neigung nach				
Grundflächennutzung	Kollektorlänge/Reihenabstand	Osten ohne Verschattung	Süden mit Verschattung	Westen ohne Verschattung
100%	1	489	443	481
80%	1,25	391	425	385
67%	1,5	261	373	257

Abb. 16: Vergleich flache Ost-/Westausrichtung ohne Verschattung mit Südausrichtung mit Selbstverschattung

### Fazit

Fernwärme ist die wirtschaftlichste Solarthermie-Anwendung, weil wie bei keiner anderen ihre Größe den Wärmepreis senkt. Je größer Wärmenetze sind, umso effizienter und wirtschaftlicher können sie mit Solarwärme versorgt werden – umso mehr noch, wenn es schon Speicher gibt. Der Platzbedarf für Kollektoren und Speicher stellt dabei zukünftig das größte Problem dar. Besonders für CPC-VRK ist eine flache Aufstellung zur Minimierung von Selbstverschattung bzw. zur maximalen Nutzung der Grundfläche am wirkungsvollsten – mit der positiven Nebenwirkung geringer Windlasten und Materialkosten. Für eine wirtschaftliche Optimierung ist es wichtig, auf Wärmeüberschüsse auch ohne Zusatzenergie oder Stress für die Anlage verzichten zu können.

### Quellen

/1/ R. Meissner, Thermische Solaranlagen für Wärmenetze, Teil 1 Dimensionierung: Heizungsjournal 3/2016, Teil 2 Wirtschaftlichkeit: Heizungsjournal 4 - 5/2016