

Exemplarische Untersuchung verschiedener Kollektoren zur Einbindung in Fernwärmenetze

Für die direkte Einspeisung von Solarthermieanlagen in Fernwärmenetze stehen viele Kollektoren mit unterschiedlichem Aufbau und thermischen Verhalten zur Auswahl. In der folgenden Untersuchung werden vier Kollektoren exemplarisch unter verschiedenen Randbedingungen untersucht. Ziel ist es, herauszuarbeiten, welcher Kollektor mit einer optimalen Aufständigung unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten für verschiedene Fernwärmetemperaturbereiche vorteilhaft ist.

In Deutschland wird Solarthermie vielfältig genutzt. Typische Beispiele sind die Wärmeversorgung von Ein- oder Mehrfamilienhäusern mit einzelnen Anlagen, die Einbindung von Kollektorfeldern in Nah- oder Fernwärmesysteme [1] und die Bereitstellung solarer Prozesswärme in der Industrie. Dabei hat die zentrale oder dezentrale Einspeisung in bestehende Fernwärmenetze eine große Bedeutung, weil sehr hohe Verbräuche im jeweiligen Netz in der Sommerperiode gedeckt und viele Bestandssysteme erschlossen werden können.

Da die Bereitstellung der solarthermischen Wärme nahezu emissionsfrei ist, sind signifikante Reduktionen von Treibhausgasemissionen für bestehende Fernwärmesysteme möglich. Weiterhin kann im Sommer ein ineffizienter Kraft-Wärme-Kopplungs-Betrieb vermieden werden.

Um die spezifischen Investitionskosten zu senken, wurden bereits in den 1990er-Jahren sehr große Kollektorfelder (z. B. in Skandinavien) errichtet und spezielle Kollektoren (z. B. mit großer Aperturfläche) entwickelt. Im Hinblick auf steigende CO₂-Preise kann sich die wirtschaftliche Situation für den Solarthermiejenseit gegenüber Techniken mit fossiler Verbrennung weiter verbessern.

Dieser Aufsatz thematisiert die Auswahl von Kollektoren mit unterschiedlichem Betriebsverhalten bzw. mit unterschiedlichen Wirkungsgraden, was durch die verschiedenen Temperaturniveaus in Fernwärmenetzen motiviert wird. Den effektiven Ertrag je Apertur- und Grundstücksfläche beeinflussen weiterhin die Aufständigung bzw. die Verschattung der Kollektoren. Mit dem Simulationsprogramm TRNSYS [2] werden daher die untersuchten Kollektoren in unterschiedliche Einsatzszenarien eingebunden und über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr simuliert.

Kollektoren und Einbindung in das Fernwärmenetz

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden vier kommerziell verfügbare Kollektoren ausgewählt und modelliert (Bild 1). Die Auswahl soll verschiedene Kollektoraufbauten repräsentieren, die für den Nieder- und Mitteltemperaturbereich geeignet sind.

Bild 1a zeigt einen nicht-konzentrierenden Flachkollektor. Die anderen abgebildeten Kollektoren sind konzentrierend, was bedeutet, dass die Sonnenstrahlung durch eine reflektierende Fläche auf den Absorber gebündelt wird. Konzentrierende Kollektoren werden durch

das Konzentrationsverhältnis C charakterisiert. Darunter wird das Verhältnis von Apertur- zur Absorberfläche verstanden. Der CPC-Kollektor ist ein schwach-konzentrierender Kollektor ($C < 2$), während mit dem Parabolrinnenkollektor (PTC) größere Konzentrationsverhältnisse erzielt werden. Ein steigendes Konzentrationsverhältnis ermöglicht prinzipiell höhere Kollektortemperaturen.

Die Integration der von den Kollektorfeldern bereitgestellten Wärme in das Fernwärmenetz ist auf verschiedene Weise möglich. Eine Variante besteht darin, ein solares Sekundärnetz aufzubauen. Diese Einbindung empfiehlt sich besonders bei der Planung neuer Stadtgebiete oder bei der Entwicklung von Quartierskonzepten, da die Gebäudetechnik der Neubauten an die niedrigeren Temperaturen des solaren Nahwärmenetzes angepasst werden können. Die niedrigen Vorlauftemperaturen (z. B. 75 °C Vorlauftemperatur im solaren Wärmeversorgungssystem für das Quartier Brühl in Chemnitz [7]) ermöglichen einen effizienten Einsatz von Flachkollektoren.

Der Aufbau eines geeigneten Nahwärmenetzes ist jedoch nicht immer realisierbar. Deswegen muss in vielen Fällen die solare Wärme in das Bestands- bzw. Primärnetz ein-

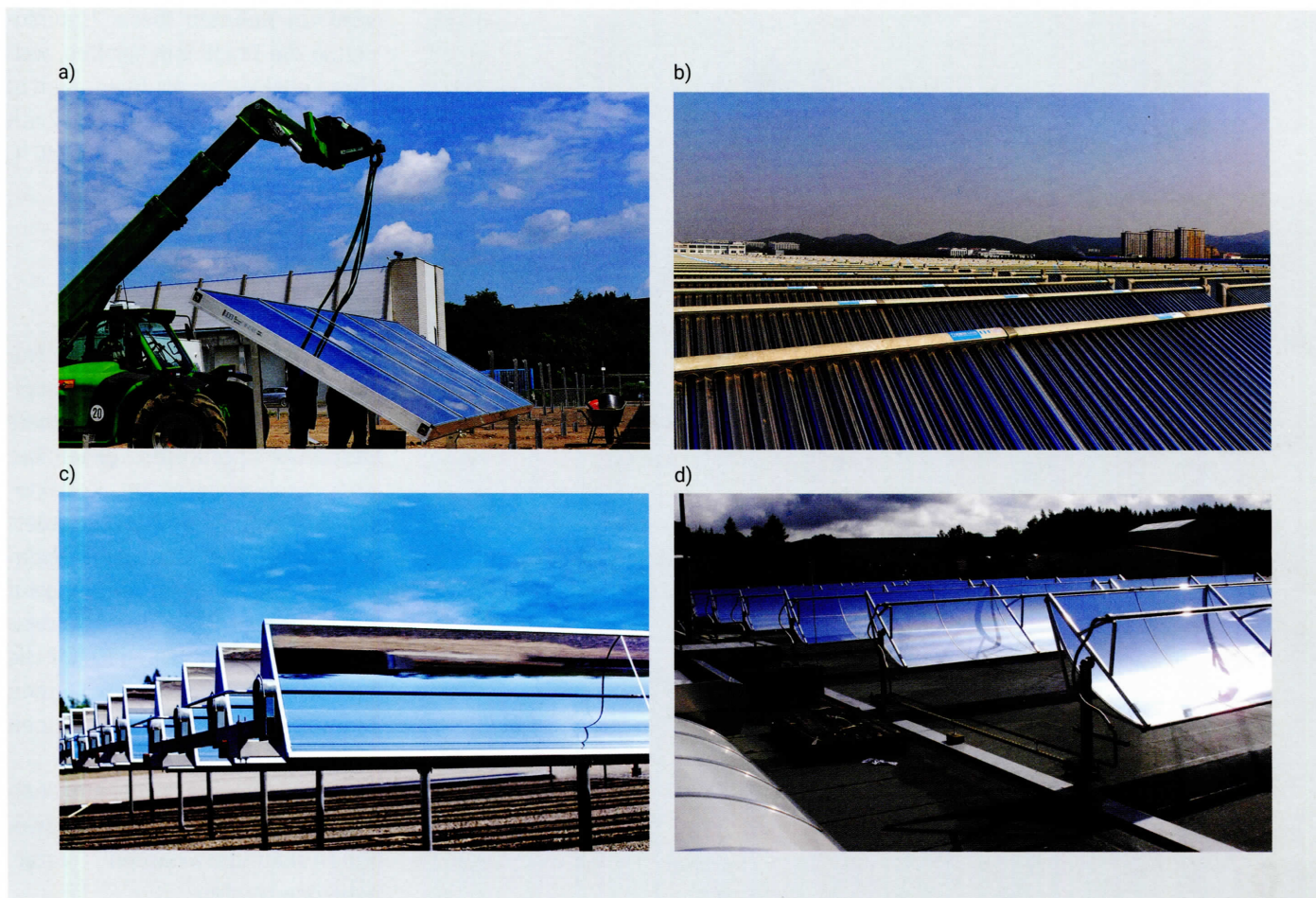


Bild 1. a) Flachkollektor, ähnlich dem untersuchten Kollektor der Firma Wagner WGK 133 AR plus [3], Kollektor A), b) CPC-Kollektor, ähnlich dem untersuchten Kollektor der Firma Ritter XL 19/49 P [4], Kollektor B), c) Parabolrinnenkollektor der Firma Absolicon T160 [5] mit $C = 8,5$, Kollektor C), d) Parabolrinnenkollektor der Firma Solitem PTC1800 [6] mit $C = 15$, Kollektor D)

gespeist werden. Das Wärmeträgermedium wird aus dem Fernwärmehrücklauf entnommen und durch die Solaranlage erwärmt und in den Fernwärmeverlauf eingespeist (Bild 2). Bei dieser Einbindungsart müssen die Solarkollektoren die Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes einschließlich der Temperaturdifferenz am Wärmeübertrager erreichen. Vor allem bei Bestandsnetzen sind Vorlauftemperaturen $T_{FW,VL} = 95...140\text{ °C}$ keine Seltenheit. Die Eintrittstemperatur auf der Primärseite des Wärmeübertragers $T_{pri,ein}$ wird in der Regel so festgelegt, dass die notwendige Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes $T_{FW,VL}$ erreicht wird. Bei Nichterreichen der erforderlichen Kollektoraustritts-

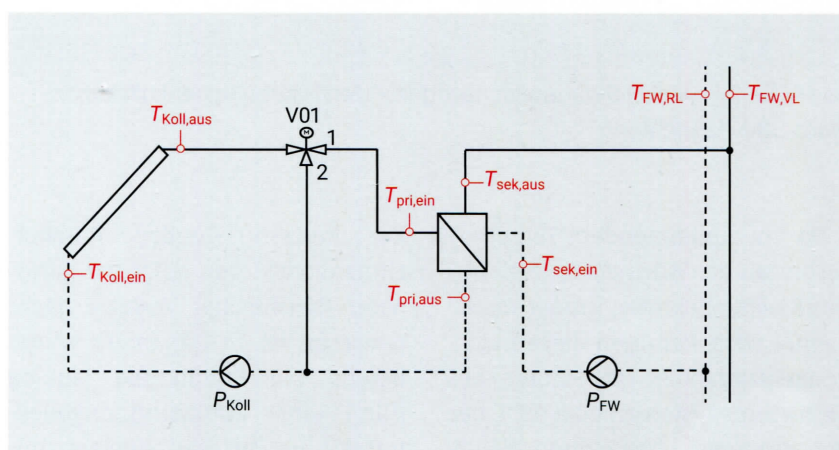


Bild 2. Anlagenschema bei einer direkten Einbindung des Kollektorfelds in das Fernwärmenetz

temperatur $T_{Koll,aus}$ wird der Wärmeträger, z. B. Wasser-Glykol-Gemisch, im Kollektorkreis ohne Auskopplung

der Nutzwärme umgewälzt (Ventilstellung 2 von Dreiwege-Umschaltventil V01 in Bild 2).

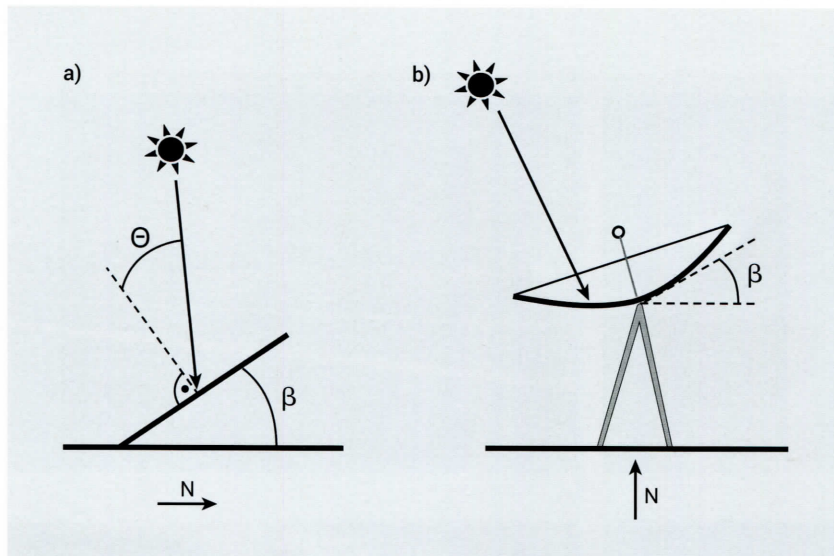


Bild 3. Winkelbeziehungen bei einem a) nicht-nachgeführten Kollektor und einem b) einachsigen nachgeführten Kollektor – Einfallswinkel Θ und Anstellwinkel β

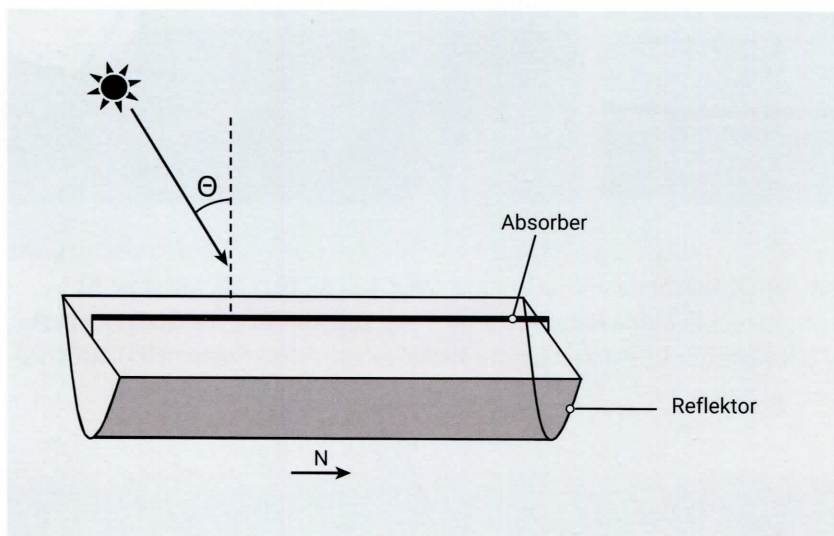


Bild 4. Einfallswinkel Θ bei einem nachgeführten Parabolrinnenkollektor in Nord-Süd-Ausrichtung

Da mit zunehmendem Temperaturniveau die Wärmebereitstellung mit Flachkollektoren immer ineffizienter wird, kommen diese nicht-konzentrierenden Kollektoren bei Fernwärmesystemen über 95 °C bei der gezeigten Einbindung kaum zum Einsatz. Bei Anwendungen im oberen Mitteltemperaturbereich¹⁾ (150...250 °C) ist der Vorteil von stär-

¹⁾ Dieser Begriff bezieht sich auf die Systematisierung von Kollektoren.

ker konzentrierenden Parabolrinnenkollektoren aufgrund geringerer thermischer Verluste nachgewiesen [8]. In Dänemark wurde bereits die Einbindung (analog Bild 2) eines Parabolrinnenkollektorfelds in Fernwärmenetzen mit Temperaturen von 95...140 °C erfolgreich erprobt [9;10]. Ein umfassender Vergleich von verschiedenen Solarkollektoren hinsichtlich der Eignung zur Fernwärmeversorgung abhängig von der Netztemperatur liegt jedoch noch nicht vor. Daher

wird im Rahmen dieser Untersuchung die Frage aufgegriffen, welcher Kollektor bei der Integration in ein Fernwärmenetz nach Bild 2 mit Temperaturen zwischen 95...140 °C vorteilhaft ist.

Aufständigung und einachsige Nachführung

Über ein zunehmendes Konzentrationsverhältnis wird bei Parabolrinnenkollektoren versucht, höhere Betriebstemperaturen gegenüber nicht-konzentrierenden Kollektoren zu erreichen. Dies erfordert gleichzeitig die einachsige Nachführung, um die Solarstrahlung auf die schmale Fläche des Absorberrohrs zu projizieren. Bild 3 stellt die Winkelbeziehungen für einen nicht-nachgeführten und einen nachgeführten Kollektor vor.

Prinzipiell kann bei der einachsigen Nachführung zwischen zwei Nachführungsvarianten unterschieden werden:

- Ausrichtung der Kollektorachse in Nord-Süd-Richtung (N-S) mit einer kontinuierlichen Nachführung von Osten nach Westen,
- Ausrichtung der Kollektorachse in Ost-West-Richtung (O-W) mit einer Änderung des Anstellwinkels.

Ziel der Nachführung ist es, den Einfallswinkel Θ (Raumwinkel zwischen der direkten Einstrahlung und des Normalenvektors der Aperturfläche) zu minimieren. Durch die Änderung des Nachführungswinkels β mit dem Sonnenstand beträgt der Einfallswinkel in der Querebene zum Absorberrohr kontinuierlich 0°. Eine Winkelabweichung ist ausschließlich in der Längsebene wahrzunehmen (Bild 4).

Eine Abweichung vom optimalen Einfallswinkel $\Theta = 0^\circ$ führt zu einem geringeren nutzbaren Strahlungsanteil und damit zu Cosinus-Verlusten. Die Cosinus-Verluste entstehen demnach durch einen

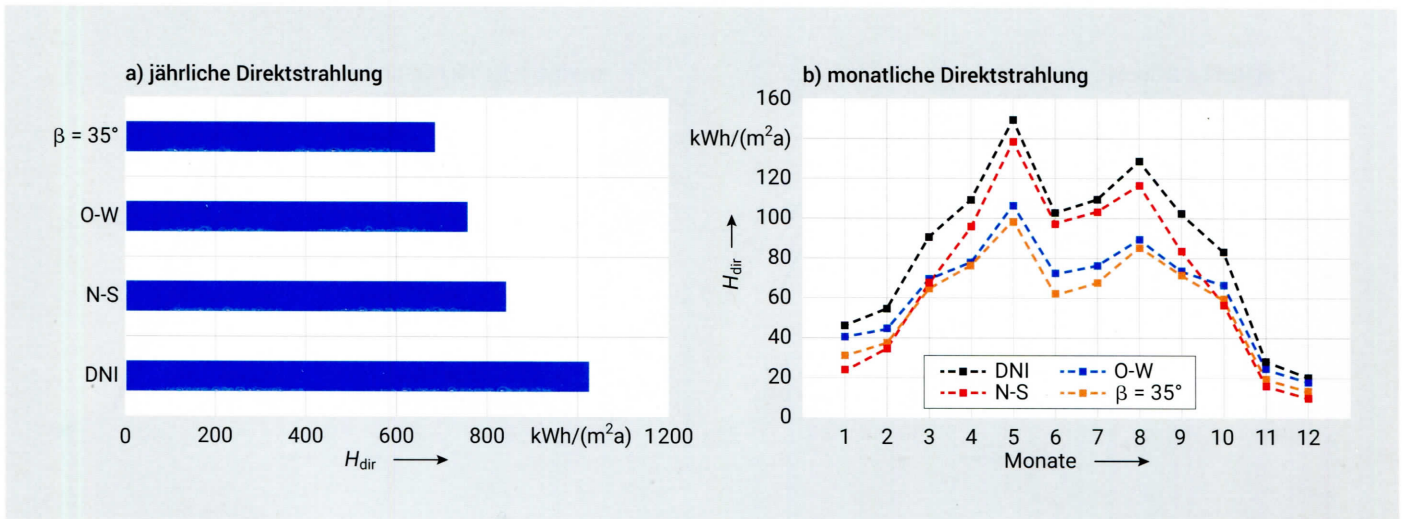


Bild 5. Vergleich des Einflusses der Aufständigung auf den Anteil der Direktstrahlung, Anstellwinkel $\beta = 35^\circ$ mit Kollektorausrichtung nach Süden ohne Nachführung für den Kollektor A) und B), einachsige Nachführung mit Ost-West- und Nord-Süd-Ausrichtung für den Kollektor C) und D) sowie theoretisch nutzbare Direktstrahlung (DNI)

nicht optimalen Einfallswinkel der Direktstrahlung auf die Kollektorfläche, wobei der Zusammenhang nach Gleichung 1 gilt.

$$G_{dir,gen} = G_{dir,\theta=0^\circ} \cdot \cos\theta \quad (1)$$

Die Direktnormalstrahlung $G_{dir,\theta=0^\circ}$ (engl. Direct Normal Irradiance,

DNI) ist dabei das theoretische Maximum bezüglich der Nutzung der Direktstrahlung. Das bedeutet, dass theoretisch ein Einfallswinkel von

Anzeige



Smart Grid
Mittelspannungs-
schaltanlage

SEMINARE

NAV
Netzbetrieb

TAR
Ladeinfrastruktur

EEG
Smart Metering

Strom

Smart Grid
Energieerzeugung

NAV
Netzbetrieb

TAR
Ladeinfrastruktur

EEG
Smart Metering

Strom

Smart Grid
Energieerzeugung

NAV
Netzbetrieb

TAR
Ladeinfrastruktur

EEG
Smart Metering

Strom

VDE
VERLAG

Technik. Wissen.
Weiterwissen.

Aktuelle Seminare im Überblick

Fachkraft für Photovoltaik (VDE/DGS)

- ▶ Modultechnik und PV-Generator
- ▶ Anlagentechnik (Wechselrichter, Schutzkomponenten, Speicher ...)
- ▶ Planung und Auslegung
- ▶ Bau und Montage
- ▶ Normgerechte Elektro-Installation
- ▶ Netzanschluss, Inbetriebnahme und Betrieb

Themen-Nr.: pi0300060

Online-Seminar: Einsatzgebiete Smart Meter – 2022

- ▶ Aktueller Stand der Diskussion aus dem BMWi-Arbeitskreis „Intelligente Netze und Zähler“
- ▶ Rechtliche Vorgaben: Messstellenbetriebsgesetz, EnWG und EEG
- ▶ Aufbau von BSI-konformen intelligenten Messsystemen (IMS)
- ▶ Zulässige Systeme außerhalb der BSI-Vorgaben

Themen-Nr.: pi1000041

Jahresforum für Technische Führungskräfte und TSM-Verantwortliche in der Energieversorgung

- ▶ Save the date: 28. bis 29. Juni 2022
- ▶ Aktuelle Entwicklungen aus dem Technischen Sicherheitsmanagement
- ▶ Wertvolles Know-how, Erfahrungsaustausch, Best-Practice-Beispiele

Themen-Nr.: pi1000035



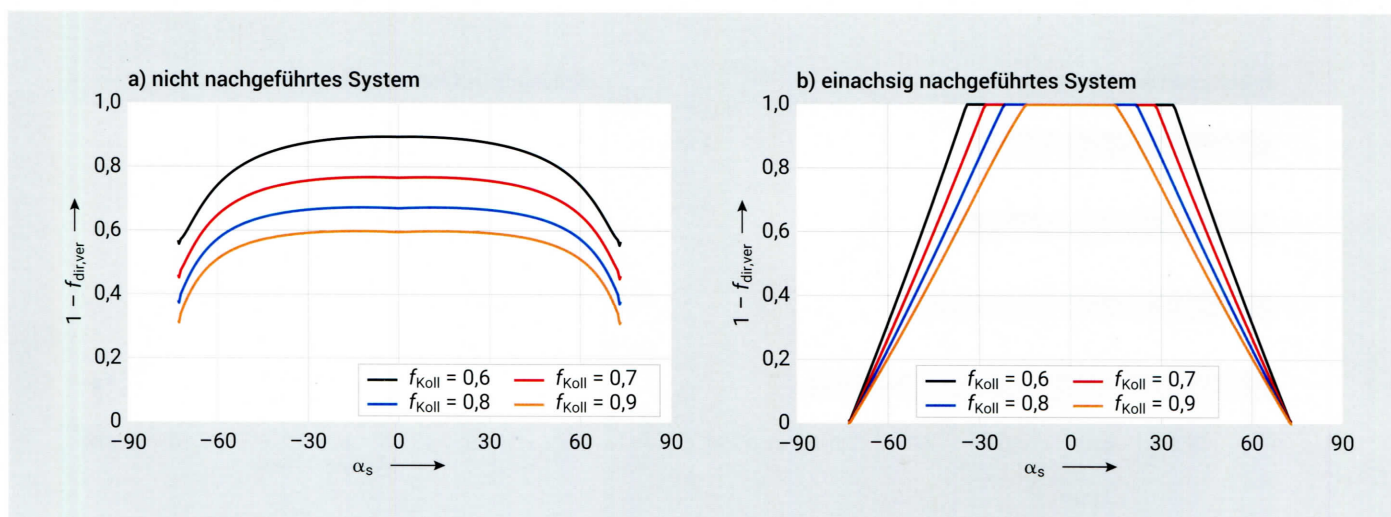


Bild 6. Einfluss der Eigenverschattung am 21. Oktober für a) die nicht-nachgeführten Kollektoren A) und B) mit $\beta = 35^\circ$ und Ausrichtung nach Süden sowie für b) die einachsige nachgeführten Kollektoren C) und D)

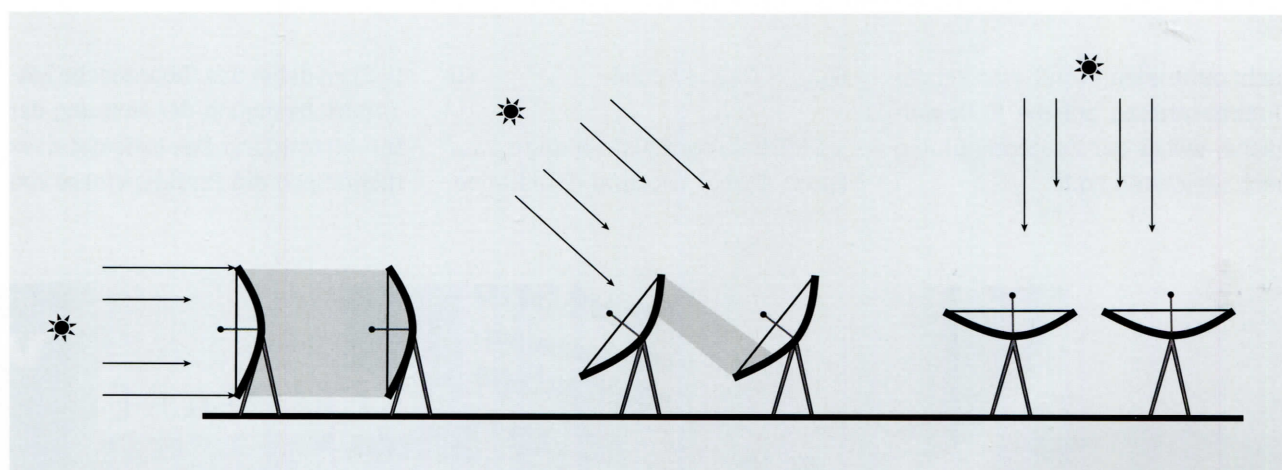


Bild 7. Eigenverschattung durch die Kollektorreihen bei einachsigen nachgeführten Parabolrinnenkollektoren

$\theta = 0^\circ$ über die gesamte Tageszeit realisiert wird.

In Bild 5 sind die effektiv nutzbare Direktstrahlung für den Kollektor A) (Flachkollektor) und den Kollektor B) (CPC-Kollektor) mit fixem Anstellwinkel von $\beta = 35^\circ$ sowie für den Kollektor C) und D) (Parabolrinnenkollektoren) in den beiden Ausrichtungsarten dargestellt. Bild 5 liefert weiterhin die maximal nutzbare Direktstrahlung DNI. Es ist zu erkennen, dass beide Nachführungen den Anteil der nutzbaren Direktstrahlung im Vergleich zu einer fixen Aufständigung erhöhen. Die Nord-Süd-Ausrichtung hat in der Sommerperiode

Vorteile, während die Ost-West-Ausrichtung im Winter mehr Direktstrahlung nutzen kann. Für den Untersuchungsstandort Chemnitz ist die Nord-Süd-Ausrichtung aufgrund geringerer Cosinus-Verluste zu bevorzugen²⁾. Daher wird in der weiteren Betrachtung diese Ausrichtung favorisiert.

Verluste durch Eigenverschattung

Ein wesentlicher Aspekt bei der Planung eines Kollektorfelds ist die Berücksichtigung der Eigenverschattung, die die Kollektoren selbst verursachen. Diese Verschattungs-

verluste variieren mit der Sonnenhöhe und dem Sonnenazimut und werden maßgeblich durch den Kollektoranstellwinkel und den Flächennutzungsgrad f_{Koll} (Verhältnis aus Kollektorbruttofläche und Aufständigungs- bzw. Grundstücksfläche) beeinflusst. Mit steigendem Flächennutzungsgrad sinkt der Abstand zwischen den Kollektorreihen und die Verluste durch die Verschattung nehmen zu.

²⁾ Mit zunehmenden Breitengrad und damit geringeren Sonnenhöhen, kann auch eine Ost-West-Ausrichtung vorteilhaft sein.

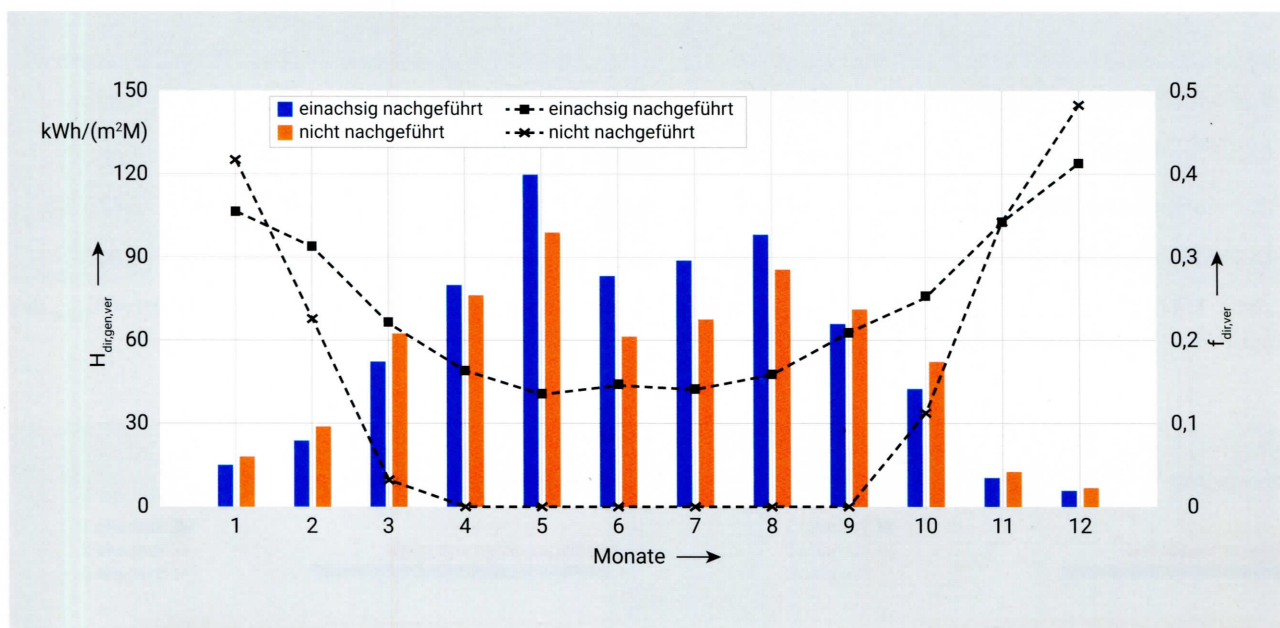


Bild 8. Monatliche Direktstrahlung mit Berücksichtigung der Verschattungsverluste bei $f_{\text{Koll}} = 0,6$ für die nicht-nachgeführten Kollektoren A) und B) mit $\beta = 35^\circ$ und die Ausrichtung nach Süden sowie für die nachgeführten Kollektoren C) und D)

In Bild 6 sind die Verluste durch die Reihenverschattung beispielhaft für den 21. Oktober für verschiedene Flächennutzungsgrade für nicht-nachgeführte ($\beta = 35^\circ$) und nachgeführte Kollektoren dargestellt. Die Berechnungen wurden mit TRNSYS und dem Type 30 (TRNSYS-Modell) für die nicht-nachgeführten Kollektoren A) und B) sowie mit dem Type 1262 für die einachsige Nachführung der Kollektoren C) und D) mit Nord-Süd-Ausrichtung vorgenommen. Die relativen Verschattungsverluste $f_{\text{dir,ver}}$ werden vom Wert 1 abgezogen, so dass die dargestellten Funktionen $1 - f_{\text{dir,ver}}$ die direkte Einstrahlung korrigieren. Es ist zu erkennen, dass sich die Verschattungsverläufe signifikant unterscheiden.

In den Morgen- und Abendstunden dominieren die relativen Verschattungsverluste $f_{\text{dir,ver}}$ bei den nachgeführten Kollektoren C) und D) (Bild 7). Im Bereich der maximalen Sonnenhöhe treten unabhängig vom Flächennutzungsgrad keine Verschattungsverluste auf, da sich die Kollektoren in einer waagerech-

ten Position befinden. Bei den Kollektoren A) und B) mit fixem Anstellwinkel kommt es abhängig von der Sonnenhöhe und des Flächennutzungsgrads auch zur Mittagszeit zu Verschattungsverlusten.

In Bild 8 ist die Direktstrahlung mit Abzug von Verschattungsverlusten $H_{\text{dir,gen,ver}}$ monatsweise für die nicht-nachgeführten und nachgeführten Kollektoren dargestellt. Es wird deutlich, dass die Kollektoren C) und D) in den Sommermonaten und damit in der Hauptnutzungsperiode bei einem Flächennutzungsgrad von $f_{\text{Koll}} = 0,6$ zwischen 10...20 % der Direktstrahlung durch Verschattung nicht nutzen können. Bei den Kollektoren ohne Nachführung und dem gleichen Flächennutzungsgrad tritt in den Monaten März bis September nur eine geringe Verschattung der Direktstrahlung auf. Insgesamt werden bei den Kollektoren A) und B) 6 % sowie bei den Kollektoren C) und D) 18 % der jährlichen Direktstrahlung verschattet. Trotz der größeren Verschattungsverluste bei den beiden nachgeführten Parabolrinnenkol-

lektoren (Kollektor C) und D)), ist der Anteil der verwertbaren Direktstrahlung größer als bei den beiden Kollektoren mit fester Aufständerrung.

Ertragssimulation

Für einen abschließenden Vergleich der Kollektoren sind mit dem Simulationsprogramm TRNSYS mehrere Simulationen über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr durchgeführt worden. Das Bewertungskriterium ist der Jahresertrag an Nutzwärme. Die TRNSYS-Types für die Kollektormodelle sowie deren Wirkungsgradparameter³⁾ bezogen auf die Bruttokollektorfläche sind in Tafel 1 zusammengefasst.

Durch die Definition von drei Szenarien werden verschiedene Fernwärmetemperaturniveaus be-

³⁾ Die winkelabhängigen Korrekturfaktoren für die Direktstrahlung sind nicht aufgeführt. Diese können unter [4;5;6] nachgeschlagen werden.

Kollektor	TRNSYS	η_0 [-]	a_1 [W/(m ² K)]	a_2 [W/(m ² K ²)]	$K_{\text{diff},\theta}$ [-]
A) Flachkollektor	Type 1289	0,763	1,971	0,015	0,873
B) CPC-Kollektor	Type 71	0,627	0,531	0,003	Type 71
C) Parabolrinnenkollektor C = 8,5	Type 1288	0,697	0,730	0,000	0,120
D) Parabolrinnenkollektor C = 15	Type 1288	0,717	0,107	0,001	0,000

Tafel 1. TRNSYS-Types der Kollektoren sowie Wirkungsgradparameter bezogen auf die Bruttokollektorfläche; $K_{\text{diff},\theta}$ des Kollektors B) wird in TRNSYS im Type71 berechnet

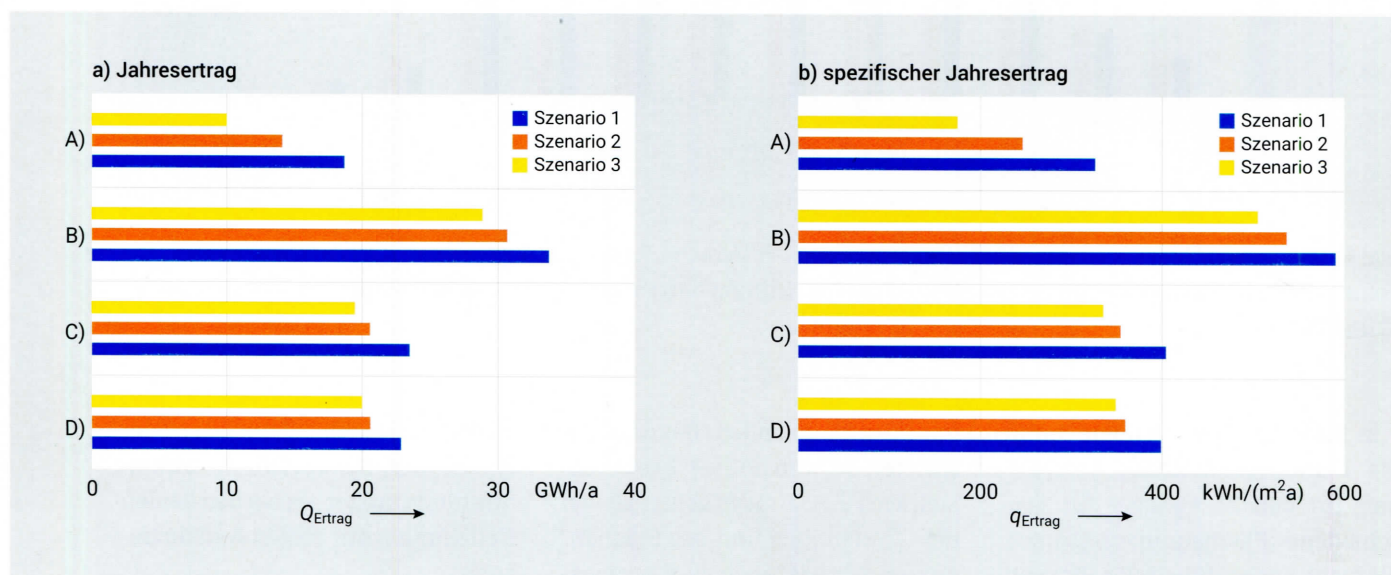


Bild 9. a) Jahresertrag und b) spezifischer Jahresertrag bei $f_{\text{koll}} = 0,6$ abhängig von den Szenarien sowie den Kollektoren A), B), C), D)

rücksichtigt. Diesen Annahmen liegt zugrunde, dass viele Netzbetreiber in den kommenden Jahren das Temperaturniveau absenken. Die Randbedingungen für die Szenarien sind vom Netzbetreiber der Stadt Chemnitz, der Inetz GmbH, geliefert worden [12].

Im Szenario 1 wird eine gleitend-konstante Betriebsweise mit einer kontinuierlichen Anpassung der Vorlauftemperatur nach der Außentemperatur unterstellt:

- $T_{\text{FW,VL}} = 110^\circ\text{C}$ bei $T_a < -10^\circ\text{C}$ und $T_{\text{FW,VL}} = 95^\circ\text{C}$ bei $T_a \geq 15^\circ\text{C}$, dazwischen lineare Interpolation,
- $T_{\text{FW,RL}} = 55^\circ\text{C} = \text{konst.}$

Hierbei handelt es sich um ein mögliches Zukunftsszenario, weswegen mit einem Wetterdatensatz⁴⁾ für das Jahr 2045 simuliert wurde.

Im Szenario 2 liegt eine monatsweise Anpassung der Vor- und Rücklauftemperaturen vor:

- Januar bis März und Oktober bis Dezember $T_{\text{FW,VL}} = 120^\circ\text{C}$ und $T_{\text{FW,RL}} = 62^\circ\text{C}$,
- April bis September $T_{\text{FW,VL}} = 100^\circ\text{C}$ und $T_{\text{FW,RL}} = 70^\circ\text{C}$.

Im Szenario 2 wird der aktuelle Wetterdatensatz verwendet.

Im Szenario 3 kommt ebenfalls eine monatsweise Anpassung der

Vor- und Rücklauftemperatur zur Anwendung:

- Januar bis März und Oktober bis Dezember $T_{\text{FW,VL}} = 140^\circ\text{C}$ und $T_{\text{FW,RL}} = 65^\circ\text{C}$,
- April bis September $T_{\text{FW,VL}} = 120^\circ\text{C}$ und $T_{\text{FW,RL}} = 70^\circ\text{C}$.

Der aktuelle Wetterdatensatz liegt auch dem Szenario 3 zugrunde.

In diesem ersten Teil des zweiteiligen Aufsatzes werden die Ertragsergebnisse für einen Flächennutzungsgrad von $f_{\text{koll}} = 0,6$ vorgestellt. Der Jahresertrag sowie der spezifische Jahresertrag bezogen auf die Bruttokollektorfläche sind in Bild 9 dargestellt. Das Grundstück in dieser Untersuchung umfasst eine Fläche von rd. 98 525 m² [13].

Es ist ersichtlich, dass der Kollektor B) (CPC-Kollektor) in allen drei

⁴⁾ In der Untersuchung werden Testreferenzjahresdatensätze vom Deutschen Wetterdienst [11] für den Standort Chemnitz verwendet – ein Wetterdatensatz für das Jahr 2045 (Prognose) sowie ein aktueller Wetterdatensatz (2015).

Abkürzungen	
CPC	Compound Parabolic Concentrator
DNI	Direct Normal Irradiance
N-S	Nord-Süd
O-W	Ost-West
P _{FW}	Pumpe Fernwärme-einspeisung
P _{Koll}	Pumpe Kollektor-kreislauf
PTC	Parabolic Trough Collector
V	Dreiwege-Umschalt-Ventil

Einsatzszenarien signifikant Vorteile hat. Der spezifische Jahresertrag beträgt je nach Szenario für den Kollektor B) zwischen 505,5...590,6 kWh/(m²a). Der Jahresertrag ist beim niedrigsten Temperaturniveau bei allen Kollektoren am größten und nimmt mit steigender Netztemperatur ab. Erwartungsgemäß hat ein steigendes Temperaturniveau den größten Einfluss auf den Ertrag des Flachkollektors. Bei den Kollektoren C) und D) (Parabolrinnenkollektoren) hat eine Erhöhung der Netztemperatur aufgrund eines hohen Konzentrationsverhältnisses bzw. geringerer thermischer Verluste die geringsten Auswirkungen auf den Ertrag.

Die größeren Ertragseinbußen vom Szenario 1 zum Szenario 2 können neben den unterschiedlichen Netztemperaturen außerdem auf die Verwendung verschiedener Wetterdatensätze zurückgeführt werden. Im Vergleich zum aktuellen Wetterdatensatz sind beim Testreferenzjahrsdatensatz 2045 die jährliche Direktstrahlung sowie die Außentemperatur leicht erhöht. Dies ist beides vorteilhaft für den Solarertrag.

Symbolverzeichnis		
Symbol	Beschreibung	Einheit
a_1	linearer Wärmeverlustkoeffizient	W/(m²K)
a_2	quadratischer Wärmeverlustkoeffizient	W/(m²K²)
C	Konzentrationsverhältnis	–
$f_{\text{dir,ver}}$	Verschattungsverluste	–
f_{Koll}	Flächennutzungsgrad	–
$G_{\text{dir,gen}}$	Direktstrahlung auf die geneigte Ebene	W/m²
$G_{\text{dir},\theta=0^\circ}$	Direktnormalstrahlung	W/m²
H_{dir}	Direktstrahlung	kWh/(m²a), kWh/(m²M)
$H_{\text{dir,gen,ver}}$	Direktstrahlung mit Abzug von Verschattungsverlusten	kWh/m²
$K_{\text{diff},\theta}$	Einfallswinkelkorrekturfaktor Diffusstrahlung	–
T_a	Umgebungstemperatur	°C
$T_{\text{Koll,aus}}$	Kollektoraustrittstemperatur	°C
$T_{\text{Koll,ein}}$	Kollektoreintrittstemperatur	°C
$T_{\text{FW,RL}}$	Fernwärmerücklauftemperatur	°C
$T_{\text{FW,VL}}$	Fernwärmeverlauftemperatur	°C
$T_{\text{pri,aus}}$	Austrittstemperatur Wärmeübertrager Primärseite	°C
$T_{\text{pri,ein}}$	Eintrittstemperatur Wärmeübertrager Primärseite	°C
$T_{\text{sek,aus}}$	Austrittstemperatur Wärmeübertrager Sekundärseite	°C
$T_{\text{sek,ein}}$	Eintrittstemperatur Wärmeübertrager Sekundärseite	°C
Q_{Ertrag}	Jahresertrag an Nutzwärme	GWh/a
q_{Ertrag}	spezifischer Jahresertrag bezogen auf Bruttokollektorfläche	kWh/(m²a)
β	Kollektorneigungswinkel	°
η_0	Konversionsfaktor	–
θ	Einfallswinkel der Solarstrahlung	°

Fazit

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass der Kollektor B) (CPC-Kollektor) in den drei definier-

ten Szenarien und damit in dem Temperaturbereich von 95...140 °C den höchsten Ertrag liefert. Der Flachkollektor (Kollektor A)) ist erwartungsgemäß für das untersuch-

te Temperaturniveau am ungeeignetsten. Dieser ist bei niedrigeren Temperaturen und damit bei dem Aufbau von solaren Sekundärnetzen vorteilhaft. Obwohl die einachsige Nachführung den nutzbaren Anteil der Direktstrahlung durch die Reduzierung der Cosinus-Verluste erhöht, stellen die Kollektoren C) und D) (Parabolrinnenkollektoren) weniger Jahresertrag zur Verfügung als der nicht-nachgeführte Kollektor B). Dies kann vor allem darauf zurückgeführt werden, dass am Untersuchungsstandort Chemnitz rd. 52 % der jährlichen Globalstrahlung diffus sind. Durch das relativ große Konzentrationsverhältnis der Parabolrinnenkollektoren kann nur ein geringer Teil der aus einem weiten Winkelbereich eintreffenden Diffusstrahlung für die Nutzwärmebereitstellung verwertet werden.

Die Betrachtung der Verschattungsverluste zeigt, dass bei gleichem Flächennutzungsgrad die Kollektoren C) und D) (mit Nachführung) einen größeren Teil der Direktstrahlung verschatten als die Kollektoren A) und B) (ohne Nachführung). Der nutzbare Direktstrahlungsanteil bei den nachgeführten Kollektoren ist zwar größer, jedoch haben die Verschattungsverluste einen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Im zweiten Teil der Untersuchung wird daher der optimale Flächennutzungsgrad nicht-nachgeführter und nachgeführter Kollektoren anhand minimaler Wärmegestehungskosten bestimmt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Kollektor B) (CPC-Kollektor) entsprechend dieser Betrachtung für die solare Fernwärmebereitstellung nach Bild 2 am geeignetsten ist. Dieser schließt die Lücke zwischen dem vorteilhaften Flachkollektor im Niedertemperaturbereich und dem Parabolrinnenkollektor, der für Anwendungen im

oberen Mitteltemperatur- und Hochtemperaturbereich am geeignetsten erscheint.

Dank

Die Autoren bedanken sich bei der Inetz für die Bereitstellung und die Nutzungsmöglichkeit von Informationen. Besonderer Dank gilt auch der Stadtverwaltung Chemnitz für die Beauftragung und Kooperation im Projekt Erstellung eines Klimaschutzteilkonzepts für die Stadt Chemnitz zur Erschließung der Potenziale regenerativer Energien im Hinblick auf die CO₂-Reduktionsziele 2050.

Literatur

- [1] Rosemann, T.; Heymann, M.; Rühling, K.; Hafner, B.: Dezentrale Solarthermischeinspeisung in das Fernwärmeprimärnetz. Euro-Heat&Power, 46. Jg. (2017), H. 9, S. 24 – 27.
- [2] Klein, S. A. et al.: TRNSYS 18: A Transient System Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, 2017, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.
- [3] Fa. Wagner: WGK 133 AR plus. <https://www.wagner-solar.com>, Mai 2021.
- [4] Fa. Ritter: XL 19/49 P. <https://www.ritter-xl-solar.de>, Mai 2021.
- [5] Fa. Absolicon: T160 solar collector. <https://www.absolicon.com>, April 2021.
- [6] Fa. Soliterm: PTC 1800. <https://www.solitermgroup.com>, Mai 2021.
- [7] Urbaneck, T.; Shrestha, N. Lal; Opelt, T.; Frotscher, O.; Göschel, T.; Uhlig, U.; Frey, H.: Solare Fernwärme für das Quartier Brühl in Chemnitz – Begleitforschung (SolFW). Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Professur Technische Thermodynamik (Hrsg.), Inetz GmbH (Hrsg.), Forschungsbericht, FKZ 0325871, 2020.
- [8] Giovannetti, F.; Horta, P.: Comparison of process heat collectors with respect to technical and economical conditions. International Energy Agency, Solar Heating & Cooling Programme, Task 49, 2016.
- [9] Tian, Z.; Perers, B.; Furbo, S.; Fan, J.: Thermo-economic optimization of a hybrid solar district heating plant with flat plate collectors and parabolic trough collectors in series. Energy Conversion and Management, Elsevier (2018) S. 92 – 101.
- [10] Perers, B.; Furbo, S.; Dragsted, J.: Thermal performance of concentrating tracking solar collectors. Technical University of Denmark, 2013.
- [11] Deutscher Wetterdienst: Testreferenzjahr Standort Chemnitz. <https://www.dwd.de>, Mai 2021.
- [12] Göschel, T.: Interne Information der Inetz. 2021.
- [13] Mücke, J. M.; Böhme, H.; Urbaneck, T.: Klimaschutzteilkonzept Stadt Chemnitz – Erschließung der Potenziale regenerativer Energien im Hinblick auf die CO₂-Reduzierungsziele 2050. Abschlussbericht, www.chemnitz.de, 17.03.2021.

M.Sc. Maximilian Stahlhut,
M.Sc. Cornelius Ackermann,
Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Urbaneck
 Professur Technische Thermodynamik,
 Fakultät für Maschinenbau,
 Technische Universität Chemnitz,
 Chemnitz
thorsten.urbaneck@mb.tu-chemnitz.de
www.tu-chemnitz.de/mb/TechnThDyn
