

Erste Ergebnisse des Langzeitmonitorings einer Anlage zur solarthermischen Unterstützung der Kälteerzeugung des Büro- und Technikgebäudes eines Telekommunikationsanbieters in Rottweil

Klaus Huber, Elmar Bollin; Hochschule Offenburg

Badstraße 24, 77652 Offenburg

Tel.: 0781 205 294, Fax: 0781 205 45 294

klaus.huber@hs-offenburg.de

fgnet.hs-offenburg.de

1 Einleitung

Die Hochschule Offenburg begleitet in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE in Freiburg die solar unterstützte Klimatisierung der Deutschen Telekom in Rottweil. Die Anlage wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens Solarthermie2000plus vom Bundesumweltministerium gefördert. Im April 2011 wurde diese Solaranlage zur Unterstützung der Gebäudeklimatisierung in Betrieb genommen. Die Solaranlage ist die dritte Wärmequelle, die in das bestehende Heizungsnetz einspeist. Die schon vorhandenen Absorptionskältemaschinen wurden zuvor alleine mit Gaskesseln und der



Abb. 1: Kollektorfeld der solaren Klimatisierungsanlage Rottweil

Abwärme eines Blockheizkraftwerks (BHKW) betrieben. Das Kollektorfeld mit einer Brutto-Kollektorfläche von 503 m² (Abb. 1) wurde auf dem Flachdach eines Werkstattgebäudes installiert, wobei der Solarspeicher neben diesem Gebäude im Freien aufgestellt wurde. Der Wärmeübertrager zwischen Kollektoren und Solarspeicher wurde zusammen mit den Pumpen und sonstigen Armaturen im Keller des Gebäudes untergebracht. Durch den Einsatz der Solaranlage wird ein Teil des für die Klimatisierung und Raumheizung erforderlichen Brennstoffs eingespart, ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet und eine Verbrauchskostenreduzierung erreicht.

Mit der erzeugten Kälte werden die Technik- und Serverräume und ein Call-Center der Deutschen Telekom gekühlt.

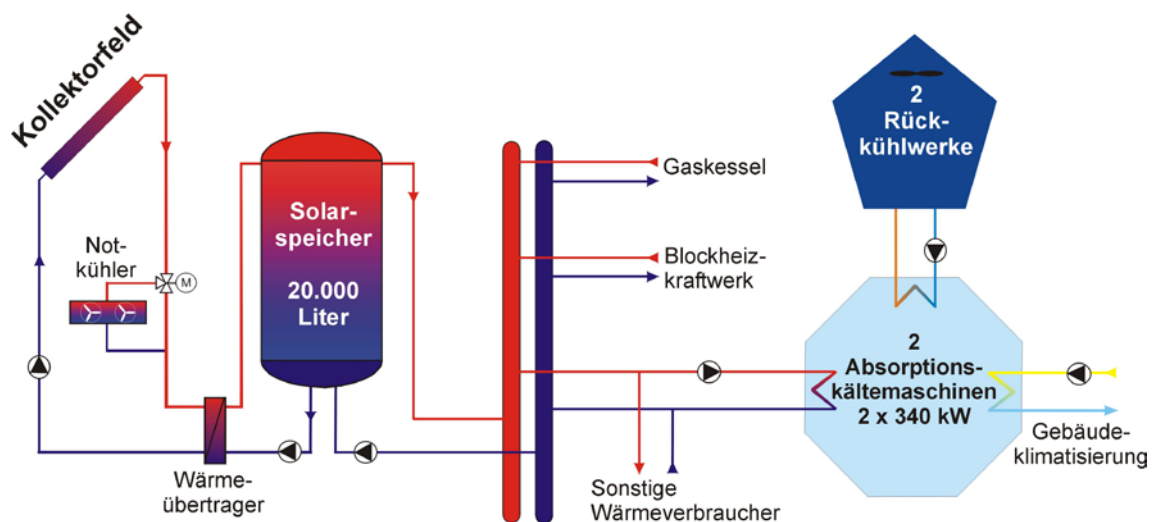


Abb. 2: Stark vereinfachtes Schema der solaren Klimatisierungsanlage Rottweil

Die Solarwärme wird über einen Heizungsverteiler an die Verbraucher abgegeben. An diesem sind neben den Kältemaschinen auch andere Wärmeverbraucher wie die Gebäudeheizung angeschlossen. Dadurch kann die Solarwärme wahlweise zu Heiz- oder Kühlzwecken genutzt werden. Zur Nutzungsgradsteigerung der Kollektoren, soll außerhalb der Kühlphasen die Systemtemperatur abgesenkt werden. Durch die genannten Maßnahmen kann ein deutlich höherer Ertrag als bei alleiniger Nutzung durch die Absorptionskältemaschinen erzielt werden.

2 Anlagenbeschreibung

Die installierte Solaranlage verfügt über 124 Vakuumröhrenkollektoren mit einer Gesamt-Bruttokollektorfläche von 503 m². Jeweils 62 Kollektoren haben eine Aperturfäche von 2,034 m² (S-POWER DF 20/2000 TPS inside) bzw. 3,051 m² (S-POWER

DF 30/2000 TPS inside). Insgesamt ergibt sich eine Aperturfläche von 315 m². Die Kollektoren sind auf dem Flachdach eines Werkstattgebäudes montiert. Sie sind gegenüber der Horizontalen um 20° geneigt und weichen in ihrer Ausrichtung um 54° nach Osten von der Südrichtung ab.

Die relativ flache Neigung der Kollektoren wurde gewählt um die zweite Kollektorreihe nicht durch die erste zu verschatten. Die flache Neigung macht sich auch wegen der deutlichen Abweichung von der Südrichtung positiv bemerkbar, da dadurch auch im späteren Tagesverlauf, wenn die Sonne mit einem sehr ungünstigen Winkel zur Solaranlage steht, noch Erträge realisiert werden können. Jeweils ein DF 20/2000- und ein DF30/3000-Kollektor sind zu einem Kollektor zusammengefasst. Damit besteht ein Kollektor aus 50 Vakuumröhren die parallel geschaltet sind. Die dadurch entstehenden 62 Kollektoren sind alle parallel miteinander verschaltet und nach Tichelmann verrohrt.

Die Kollektoren sind in zwei gleichgroße Teilfelder unterteilt, die hintereinander aufgestellt sind. Das durch die eingestrahlte Sonnenenergie in den Kollektoren erwärmte Glykol/Wasser-Gemisch wird durch einen Wärmeübertrager zur Erwärmung des Speicherladekreises im Keller des Gebäudes gepumpt. Der Speicher hat ein Volumen von 20.000 Litern und ist im Freien neben dem Gebäude aufgestellt.

Tab 1: Kenndaten der solaren Klimatisierungsanlage Rottweil

Solaranlage:	
Kollektorbauart	Vakuumröhrenkollektor
Kollektortyp	(S-POWER DF x0/x000 TPS inside)
Fläche brutto / Apertur	503 m ² / 315 m ²
Azimut / Neigung	-54° / 20°
Speicher	20.000 l
Wärmeübertrager	Ein Plattenwärmeübertrager
Wärmenutzung	Kälteerzeugung, Heizung, WW-Bereitung
Zusatzheizung	1 x BHKW (315 kW _{therm}) 2 x Gaskessel (je 1 MW)
Kältemaschinen:	
Bauart	Absorptionskältemaschinen
Hersteller	York International/Mitsubishi Typ
Typ	ES-IA 2 MW mit je 340 kW
Leistung	2 x 340 kW

Aus den Speichern wird die solare Wärme im Sommer über einen Heizungsverteiler zu den Kältemaschinen gepumpt. Im Winter wird die Wärme über denselben Verteiler in das Heizungsnetz des Gebäudes eingespeist. Die beiden einstufigen Absorptions-Kältemaschinen vom Typ York International/Mitsubishi Typ ES-IA 2 MW werden mit Stoffpaar Wasser-Lithiumbromid betrieben und weisen jeweils 340 kW Kälteleistung im Nennbetrieb (Heiztemperatur 99 °C, Rückkühltemperatur 27 °C) auf. Die Kältemaschinen wurden bereits vor Inbetriebnahme der Solaranlage mit der Abwärme eines Blockheizkraftwerks (BHKW) und Wärme von zwei Gaskesseln betrieben. Mit der erzeugten Kälte werden die Technik- und Serverräume und ein Call-Center der Deutschen Telekom gekühlt.

Eine Besonderheit dieses Systems stellt der Notkühler dar, der in den Kollektorkreis integriert ist. Bei drohender Stagnation wegen zu geringer Wärmeabnahme wird die Solarwärme über den Notkühler abgeführt und damit eine hohe thermische Belastung des Kollektorfluids weitgehend vermieden. Eine weitere Besonderheit der Anlage ist der thermische Frostschutz. Bei Frostgefahr pumpt die Anlage zeitweise warmes Wasser aus dem Pufferspeicher durch die Rohrleitungen im Freien um diese vor dem Einfrieren zu bewahren. Die Leitungen im Kollektorkreis sind hiervon explizit ausgenommen, da dort der Frostschutz chemisch durch ein Glykol/Wasser-Gemisch garantiert wird.

Die Solaranlage wurde im April 2011 in Betrieb genommen. Seit Juni 2011 liegen nun Messdaten vor, die in Tab. 2 und Abb. 3 als Monatswerte zusammengefasst dargestellt sind. Die Werte beziehen sich auf die Aperturfläche von 315 m². Es ist beabsichtigt die Anlage mindestens bis Ende 2012 zu vermessen.

Es konnten im Maximum im August monatlich bis zu 23 MWh (74 kWh/m² Aperturfläche) an solarer Wärme in die Speicher eingespeist werden was einem Nutzungsgrad von 38 % entspricht. Von der eingespeisten Wärme konnten wiederum 20 MWh (63 kWh/m²) dem Speicher entnommen und ins Heizungsnetz eingespeist werden. Die Differenz ging als Wärmeverluste an die Umgebung verloren. Speziell im November und Dezember sind diese Wärmeverluste besonders auffällig, da in diesen Monaten naturgemäß nur wenig Wärme auf einem nicht nutzbaren Temperaturniveau in die Speicher eingespeist werden konnte, sind die Verluste auf bis zu 100 % angestiegen. Ein weiterer Faktor ist, dass auch Wärme für die Frostschutzfunktion zur Vermeidung des Einfrierens der Verbindungsrohre benötigt wurde, die ebenfalls den Speichern entnommen wurde. Nur in Extremfällen, wenn die Speichertemperatur zu niedrig ist, wird Wärme aus dem Heizungsnetz benötigt um die Frostfreiheit zu gewährleisten. Im Juli konnte ein maximaler solarer Deckungsanteil am Gesamtwärmeverbrauch von 16 % erreicht werden. Dieser relativ geringe Deckungsanteil ist

darauf zurückzuführen, dass das Kollektorfeld aus Platzgründen nicht größer ausgelegt werden konnte.

Die in Tab. 2 aufgeführte Arbeitszahl gibt das Verhältnis aus erzieltm solarem Ertrag zu Stromverbrauch des Solarsystems (für Pumpenbetrieb und Regler) wieder. Hier wurde im August ein maximaler Wert von 57 erreicht.

Bei den Kältemaschinen wurde in allen Betriebsmonaten ein für einstufige Absorptionskältemaschinen im unteren typischen Bereich liegender thermischer Coefficient of Performance (COP_{th}), entsprechend dem Quotienten aus Nutzkälte und Antriebswärme, zwischen 0,53 und 0,57 ermittelt. Die Maschinen wurden im Heizkreis häufig mit ca. 80 °C mit Temperaturen deutlich unter der Nennantriebstemperatur von 99°C angetrieben, und takteten häufig. Beides wirkt sich negativ auf den COP_{th} aus.

Die Kältemaschinen hatten im August mit 78 MWh den größten Wärmebedarf im Messzeitraum und erzeugten in diesem Zeitraum 45 MWh Kälte was einem COP von 0,57 entspricht. Weitere Messergebnisse entnehmen Sie bitte Tab. 2 und Abb. 3.

Tab 2: Erste Messergebnisse der solaren Klimatisierungsanlage Rottweil

	06/2011	07/2011	08/2011	09/2011	10/2011	11/2011	12/2011	01/2012	02/2012	Summe
Einstrahlung auf gesamtes Kollektorfeld in MWh	47	51	52	41	27	16	5,5	De-fekt	De-fekt	
Ertrag Speicherbeladung in MWh	20	22	23	18	8,7	2,5	0,3	0,6	4,0	98
Kollektornutzungsgrad in %	42	43	45	43	32	16	5,3	-	-	
solare Nutzwärme in MWh	16	18	20	14	5	0,2	0	0	0,4	74
Systemnutzungsgrad in %	34	35	38	36	19	1,4	0	-	-	
Arbeitszahl Solarsystem	47	54	57	52	29	2	0	0	2	38
Deckungsanteil Solar in %	13	16	14	12	3	0,1	0	0	0,1	4
Wärmeverbrauch AbsKMs in MWh	40	35	78	37	6	0	0	0	0	195
Kälte von AbKMs in MWh	22	19	45	20	3	0	0	0	0	109
COP_{th} AbKMs	0,55	0,55	0,57	0,55	0,53	-	-	-	-	0,56

3 Detailanalyse der Messdaten

Bei der genaueren Untersuchung der Messdaten wurden folgende Optimierungspotentiale festgestellt.

Hohe Speicherverluste

Es zeigten sich relativ hohe Wärmeverluste im Solarspeicher und der an ihm angeschlossenen Verrohrung. Die Rohrleitung zwischen Speicher und der Schnittstelle zum Heizungsnetz mussten über eine längere Strecke (einfache Strecke ca. 100 m) im Freien verlegt werden. Dementsprechend liegt es nahe, dass ein großer Teil der Wärmeverluste trotz guter Wärmedämmung an diesen Rohren entsteht. Die Zirkulation in diesem Kreislauf wird durch zwei unterschiedlich große Pumpen gewährleistet. Die kleinere Pumpe geht immer parallel zur Kollektorkreispumpe in Betrieb um die lange Rohrleitung über einen Bypass bis zur Einspeisestelle warm zu halten. Dadurch ist diese Pumpe deutlich länger in Betrieb als Wärme ins Heizungsnetz eingespeist wird (Abb. 4). Die Pumpe geht unabhängig von Speichertemperatur und Wärmebedarf ab einer Einstrahlung von 350 W/m^2 in Betrieb.

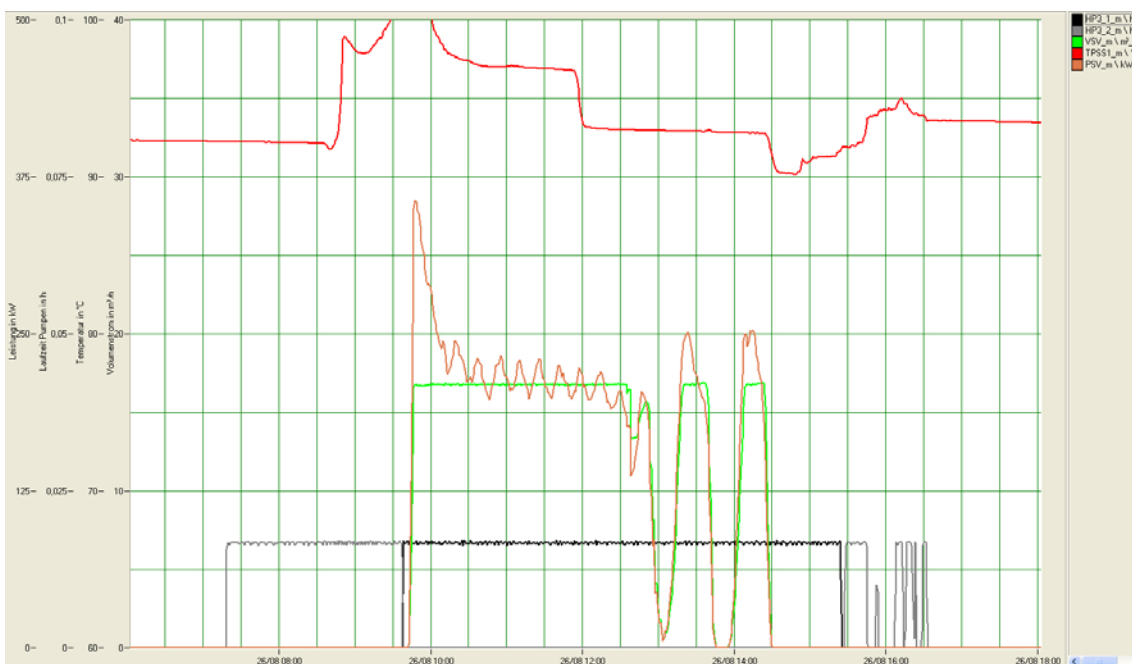


Abb.4: Darstellung der Betriebszeiten der Speicherentladepumpen HP3/1 (groß) und HP3/2 (klein), des Speicherentladevolumenstroms VSV, der wie die Speicherentladeleistung (PSV) nur dann erfasst wird, wenn der Bypass zum Heizungssystem geöffnet ist. Es zeigt sich, dass die Pumpen morgens und abends jeweils ca. zwei Stunden ohne

Zur Reduzierung der Speicherverluste wurde die Regelung geändert, sodass die kleine Pumpe nicht mehr in Abhängigkeit von der Einstrahlung geregelt wird. Zukünftig soll die Speichertemperatur und der Wärmebedarf im Heizungsnetz als Regelkriterien für den Betrieb der beiden Pumpen dienen. Bei Erreichen einer Mindesttemperatur von 95°C im Speicher oben und Mitte soll die Pumpe in Betrieb gehen. Der Bypass soll erst nach einer festgelegten Zeitspanne den Weg zum Heizungsnetz freigeben. Die Zeitspanne ist so zu bemessen, dass nach Ablauf heißes Wasser am Bypassventil angekommen ist und das Einströmen kalten Wassers in das Heizungs-system weitgehend vermieden wird. Durch diese Regeländerung werden die Rohre nicht mehr so lange mit heißem Wasser warm gehalten, sodass eine Reduzierung der Wärmeverluste erwartet wird. Außerdem wird eine Reduzierung des Stromverbrauchs und damit eine Erhöhung der Arbeitszahl erwartet.

Neben den beschriebenen Verlusten aufgrund der Regelstrategie fallen außerdem noch Verluste für die Frostschutzschaltung an, mit deren Hilfe die im Freien befindlichen, mit Wasser gefüllten Rohre eisfrei gehalten werden. Bei weniger als 5 °C Außentemperatur wird in regelmäßigen Abständen die Pumpe für eine halbe Stunde gestartet um bereits abgekühltes Wasser in den Rohren durch wärmeres Wasser aus dem Speicher zu ersetzen.

Hier wäre sicher sinnvoll die Temperaturen im / am Rohr an kritischen Stellen zu überwachen um dadurch die Pumpe seltener und kürzer in Betrieb nehmen zu müssen und ein unnötiges Beheizen der Rohre zu vermeiden.

Direktanbindung Wärmeverbraucher mit niedrigerem Temperaturniveau

Da wie in Tab. 2 dargestellt in den Wintermonaten November bis Februar den Speichern keine Wärme entnommen werden konnte, wurde auf dem Betriebsgelände nochmals nach Wärmeverbrauchern gesucht, die Wärme auf niedrigem Temperaturniveau benötigen. Hier bieten sich die Trinkwassererwärmung der Kantine sowie verschiedene Lüftungsanlagen an, die räumlich nahe bei der Solaranlage installiert sind. Die Anbindung der Trinkwassererwärmungsanlage würde nach dem Prinzip der im Projekt Solarthermie-2000 entwickelten und in zahlreichen Anlagen erprobten und untersuchten Prinzip der Trinkwasservorwärmung realisiert. Die Lüftungsanlage würde in ähnlicher Weise mit der Solarwärme zur Vorwärmung angebunden.

Durch diese Maßnahme kann die auf niedrigem Temperaturniveau eingespeiste Solarwärme genutzt werden. Außerdem wird durch die dadurch reduzierte Speichertemperatur eine häufigere Einspeisung durch die Solaranlage ermöglicht und damit der solare Ertrag erhöht. Die Verluste werden durch die niedrigere Temperatur ebenfalls geringer ausfallen. Bisher lagen die Speichertemperaturen

immer bei über 30°C, obwohl in Frostperioden Wärme für den Frostschutz entnommen und keine Wärme außer der Solarwärme eingespeist wurde.

Notkühlung

Die oben erwähnte Notkühlung war bisher noch nicht in Betrieb, da die anfallende Wärme des Solarsystems jederzeit in das Heizungssystem eingespeist werden konnte und auch keine Störungen vorlagen, die deren Betrieb notwendig gemacht hätte. Hierzu wurde am 15.03. ein Versuch durchgeführt, bei dem die Sekundärpumpe am Wärmeübertrager und damit die Wärmeabnahme deaktiviert wurde. Dadurch stieg die Temperatur kurz nach dem Kollektorfeld und kurz vor dem, Notkühler von ca. 87 °C (bei aktivierter Sekundärpumpe) auf bis zu 113 °C an. Das Drei-Wege-Ventil am Notkühler wurde so weit geöffnet bis die Temperatur nach dem Notkühler bei ca. 104°C war. Dieser Zustand wurde mit leichten Schwankungen über einen längeren Zeitraum gehalten (Abb. 5). Danach wurde die Sekundärpumpe wieder aktiviert und die Speicherentladepumpe deaktiviert. Der Speicher heizte sich langsam stufenweise auf. Die notwendige Temperatur von 104°C wurde aber nicht erreicht, da sie solare Einstrahlung wegen der fortgeschrittenen Tageszeit zu gering war.

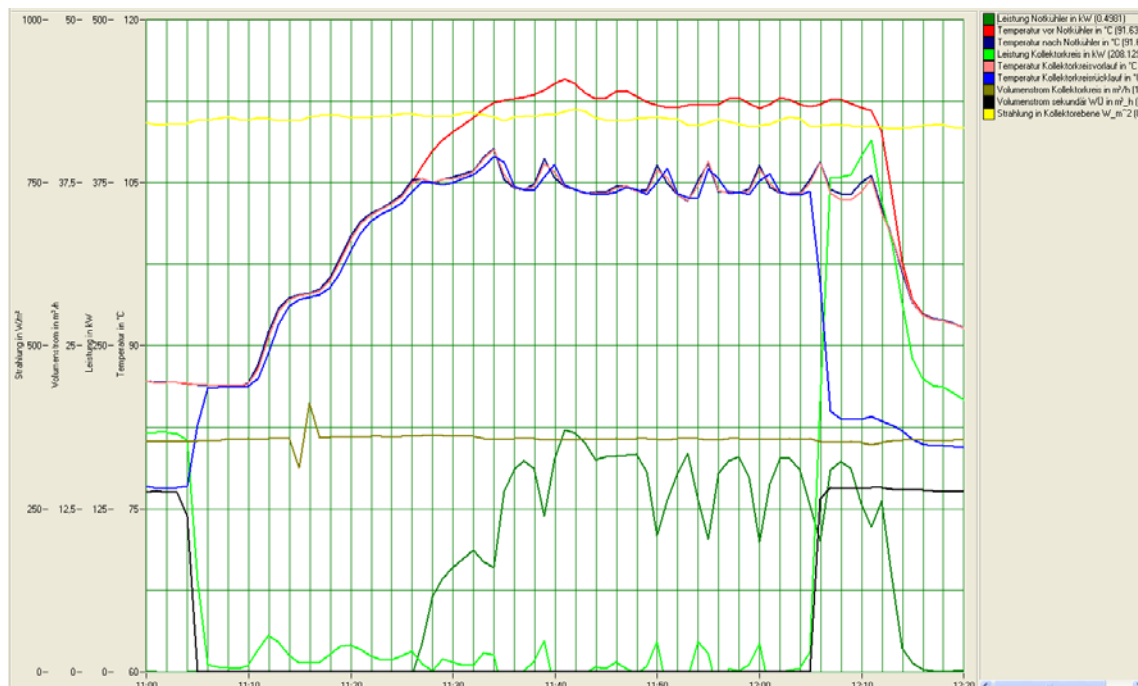


Abb.5:grafische Auswertung des Notkühlerbetriebs bei provozierter Überhitzung im Kollektorkreis durch abschalten der Sekundärpumpe am Wärmetauscher und der Speicherentladepumpe.

Durch den Notkühler wird die hohe thermische Belastung des Kollektorfluids vermieden. Normalerweise sind Solaranlagen bei einem Stillstand wegen Überhitzung für den Rest des Tages außer Betrieb, da die Kollektorpumpe erst wieder bei Unterschreiten einer festgelegten Temperatur in Betrieb genommen wird, da das Kollektorfluid dann zum Teil verdampft ist und die Kollektoren stark überhitzt sind. Durch die Einbindung eines Notkühlers wird diese lange Stillstandsphase vermieden und es kann auch nach einer Phase zu geringer Wärmeabnahme am selben Tag wieder Wärme geerntet werden. Bei der vorliegenden Anlage ist dieser Fall aufgrund der im Verhältnis zur Kollektorfläche sehr hohen Wärmeabnahme bisher nicht aufgetreten. Bei, im Verhältnis zur Kollektorfläche, geringerer Wärmeabnahme kann hierdurch aber auch der solare Ertrag gesteigert werden, da nach einer vermiedenen Überhitzung die Speicher nochmal aufgeladen werden können bzw. Wärme zur Verfügung gestellt werden kann.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Solaranlage Rottweil bringt bisher angesichts des hohen Temperaturniveaus der Anlage von 80 °C– 95 °C gute Erträge und läuft weitgehend störungsfrei. Im November bis Februar wurden bisher kaum solare Erträge erzielt, was einerseits auf die hohen Speicherverluste, andererseits auf das hohe Temperaturniveau des Heizungssystems zurückgeführt werden muß, das bei der geringen Einstrahlung im Winter nicht erreicht wird. Die vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen sollen noch vor Beginn der sommerlichen Kühlphase durchgeführt werden, um deren Erfolg baldmöglichst überprüfen zu können.

Die solarunterstützte Klimatisierung eines Telekom-Festnetzknos in Rottweil der Deutschen Telekom wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0325012 im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie2000plus gefördert.