

Fehleranalyse und Optimierung
der solarthermischen Anlage zur Trinkwassererwärmung
an der Fachhochschule Trier

- Kurzfassung -

ECOSCOP GmbH
Adrian Görtgens
Matthias Gebauer

Am Knieberg 29
54293 Trier

Stand: 04/2009

1 Probleme

Der Grund für die Untersuchung der Solaranlage der FH Trier waren ständige Probleme beim Betrieb, der ausbleibende Ertrag und eine regelmäßige morgendliche Störmeldung.

2 Bestandsaufnahme

Zur Kontrolle wurde ein neuer Datenlogger an die Solarregelung angeschlossen. Der Datenlogger speichert alle Sensortemperaturen sowie Schaltzustände der einzelnen Ausgänge. Ein Onlineschema wurde in Zusammenarbeit mit Dr. Molter vom Rechenzentrum der FH Trier erstellt und kann unter <http://solvis.fh-trier.de/GRAFIK.htm> betrachtet werden. Im Anhang befindet sich ein Prinzipschema aller Kreise mit sämtlichen Sensoren und Ausgängen.

Anhand der auslesbaren Grafikdatei können Schwachstellen und Betriebsstörungen analysiert werden. Das auffälligste ist, dass die Solaranlage bei starkem Sonnenschein nicht zufrieden stellend arbeitet. Gerade beim größten Sonnenangebot sollte die Warmwasserbereitung nur durch solare Wärme erfolgen. Die Umwälzpumpe im primären Solarkreis schaltet jedoch erst bei 100°C Kollektortemperatur auf volle Drehzahl und nach ca. 40 Minuten bei 120°C ab, sie läuft erst wieder an wenn der Kollektorfühler weniger als 120°C misst.

In den sonnenärmeren Wintertagen läuft die Anlage, da die Strahlung den Kollektor nicht auf über 120°C erwärmen kann. Die Temperaturdifferenz vom Kollektorfühler S8 zum Vorlauffühler S7 in der Zentrale beträgt jedoch ca. 10K. An sonnenstärkeren Tagen in der Übergangszeit lag diese Temperaturdifferenz bei laufender Pumpe und über 100°C Kollektortemperatur sogar bei ca. 60K. Der Grund dafür könnte eine zu kleine Drehzahl der primären Solarpumpe oder Luft im Kollektorkreis sein.

3 Messungen

Um die Leistungsfähigkeit der Solaranlage in den letzten Jahren beurteilen zu können wurden die Datenaufzeichnung heran gezogen. Seit 2006 wurde jede Woche der Zählerstand der in der

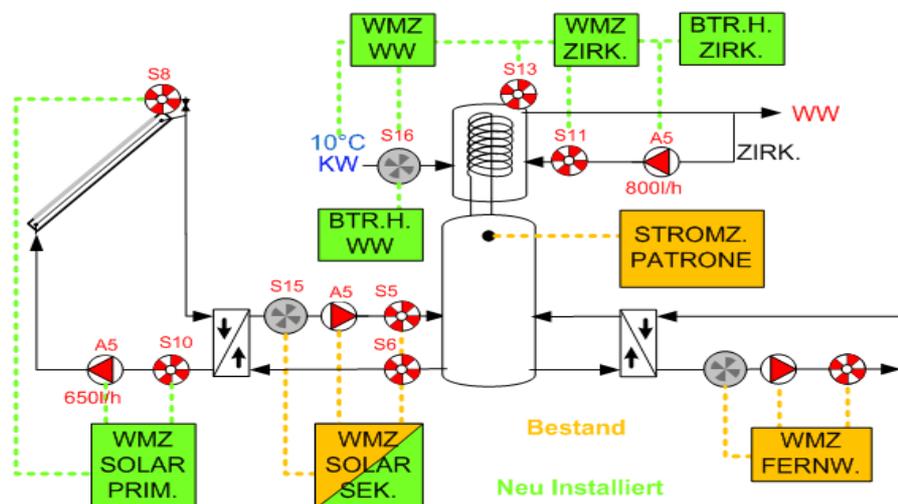
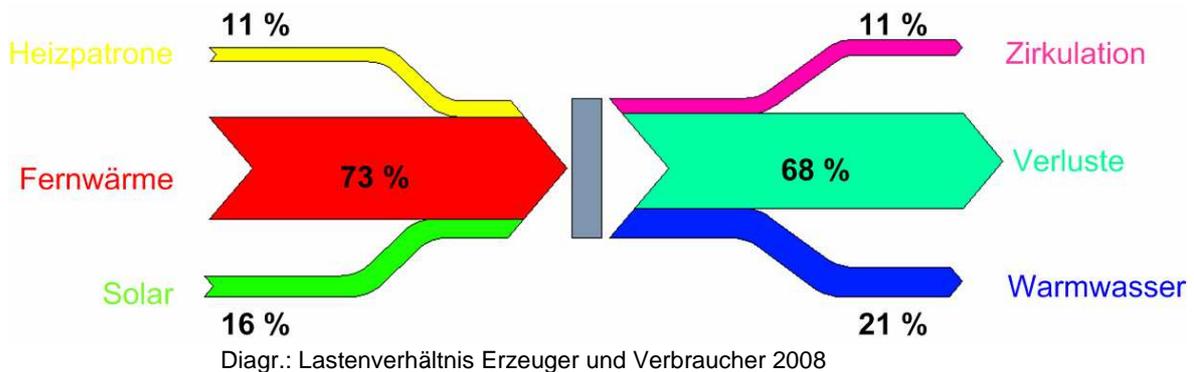


Abb 12: Vereinfachtes Anlagenschema mit Zählereinrichtungen

Zeichnung gelb dargestellten Messeinrichtungen abgelesen. Die grün dargestellten Zähler wurden nachträglich programmiert. Zur Erfassung der Zirkulationsverluste musste der Durchfluss ermittelt werden, hierfür wurde ein Ultraschallmessgerät benutzt. Das Flussdiagramm stellt die Energieflüsse aus dem Jahr 2008 dar.



Im Beispieljahr 2008 verbraucht die Zirkulation rund 11 % der erzeugten Energie, lediglich 21 % werden für die Warmwasserbereitung benötigt. Die Verluste betragen 68 % der gesamten Energiebereitstellung, hierbei bleiben die solaren Verluste aus dem primären Kreis unberücksichtigt. Die Verluste stellen die Differenz zwischen Erzeuger und Verbraucher dar, es sind die Verluste die in der langen Fernwärmeleitung und in der Zentrale auftreten.

Bei den Erzeugern übernimmt die Fernwärme mit 73 % den Hauptteil, die Heizpatrone steuert 11 % dazu und die Solaranlage liefert insgesamt nur 16 % der gesamten Energiebereitstellung des Jahres 2008.

Die Auslegung der Anlage beruhte auf den erfassten Messwerten von 1999 und den daraus berechneten Wassermengen von rund 1.500 Liter/Tag, die Verbräuche betragen seit 2005 jedoch **nur ca. 178 Liter/Tag**, ein derart verändertes Benutzerverhalten war unvorhersehbar. Durch den verminderten Verbrauch hat die Anlage einen unwirtschaftlichen Systemwirkungsgrad und hohe Stillstandszeiten.

Aufgrund des verringerten Verbrauchs sollte die Solaranlage aber einen wesentlich höheren Anteil am Verbrauch decken. Deshalb wurden verschiedene Optimierungen durchgeführt.

4 Optimierungen

Alle bisherigen Verbesserungen wurden ohne zusätzliche Anschaffungen und ohne neue Investitionen realisiert, stattdessen wurde nur die Betriebsweise der bestehenden Anlage optimiert.

4.1 Betriebsdrücke

Die Anlage wurde komplett gespült und restlos entlüftet, die berechneten Anlagendrucke für einen optimalen Betrieb (Anlagendruck = 2,62 bar und Ausdehnungsgefäßvordruck =

2,5 bar) sind eingestellt. Nach dieser Maßnahme war eine deutliche Verbesserung zu erkennen, die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Vorlauf betragen jetzt nur noch ca. 4 K. Der Kollektor überhitzt nicht mehr so schnell weil die Wärme jetzt abtransportiert werden kann. Die einzustellenden Betriebsdrücke wurden mit Aufklebern am Manometer und am Ausdehnungsgefäß dokumentiert.

4.2 Steuerung

Zusätzlich wurde eine „Startfunktion“ programmiert welche die Witterung „ertastet“ und somit schneller auf starke Einstrahlung reagieren kann.

Um den Stillstand heraus zu zögern wurde eine „Kollektorkühlung“ programmiert. Dabei wird ab einem bestimmten Temperaturniveau gezielt Wärme über die Zirkulationsleitung abtransportiert.

Starke Temperaturschwankungen im Kollektor sowie im Solarvorlauf konnten durch eine Optimierung der PID-Parameter (Drehzahlregelung Solarpumpen) vermindert werden.

Durch eine Sensibilisierung der Freigabeparameter der Zirkulationspumpe, sowie ein nachträglich programmiertes Verzögerungsglied tritt nun keine morgendliche Störmeldung mehr auf.

Das aktuelle, kommentierte Programmschema der Steuerung findet sich im Anhang.

4.3 Aufstellraum und Dämmung

Zur Verminderung der Wärmeverluste (zurzeit gesamt ca. 68 %) wurde der obere Lüftungsschlitz in der Zentrale geschlossen, der untere Schlitz muss laut Herrn Reinert zwecks Raumbelüftung offen bleiben. Es besteht dringender Handlungsbedarf bei der Dämmung in der Zentrale, hier liegt vermutlich der Hauptteil der Verluste. Alle Kugelhähne und Umwälzpumpen sowie ungedämmte Rohrstrecken sind zu dämmen. Das thermografische Bild zeigt die kritischen Stellen.



Bild: Zentrale

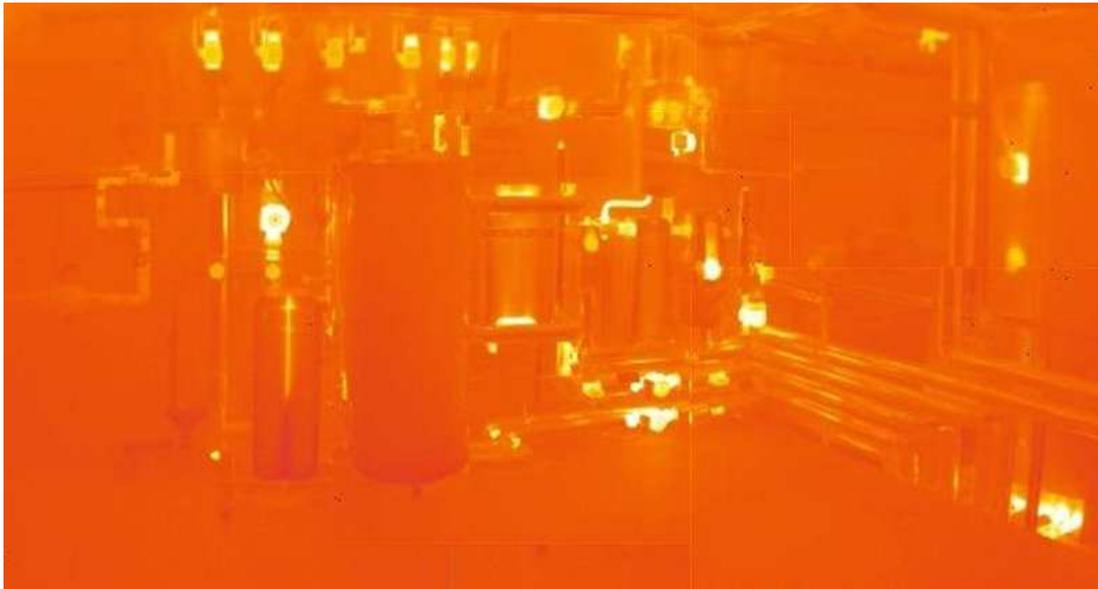


Bild: Thermografische Aufnahme der Zentrale

5 Ergebnis

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Anlage vor der Optimierung zwar korrekt ausgelegt, jedoch falsch betrieben wurde. Die Betriebsdrücke stimmten nicht und bei der Regelung waren viele Parameter verbesserungs- und ergänzungsfähig. Nach den Verbesserungen läuft die Anlage sehr zufrieden stellend, durch die eigens entwickelte Möglichkeit der Kollektorkühlung können bei starker solarer Strahlung Stillstände verzögert bzw. ganz vermieden werden. Dadurch werden die Anlagenkomponenten und das Wärmeträgermedium geschont. Zurzeit, bei mittleren Einstrahlungen, läuft die Anlage zufrieden stellend, die Solaranlage lieferte im Zeitraum Dezember bis Februar 2009 so viel Wärme wie durch die Warmwasserbereitung benötigt wird. Das war vorher noch nicht einmal in der Ganzjahresbilanz möglich! Durch die Fernwärme werden momentan die Zirkulation und alle Verluste gedeckt.

Allerdings lässt sich die Solaranlage momentan nicht wirtschaftlich betreiben, weil der Warmwasserverbrauch zu gering ist. Es kann aber durchaus sein, dass die Nutzung der Duschanlagen der Turnhalle zukünftig, z.B. nach einer Sanierung der veralteten und in schlechtem Zustand befindlichen Einrichtungen, häufiger und intensiver genutzt werden. Die Fachhochschule besitzt nun eine Forschungseinrichtung an der verschiedene Zustände und Optimierungen ausprobiert werden können

Die Gesamtkosten der Solaranlage beliefen sich auf rund 58.500 €, daraus ergibt sich eine Amortisationszeit von 26 Jahren. Durch intensiveres Nutzen der solar bereitgestellten Wärme und durch Eindämmung der Verluste verkürzt sich die Zeit.

Durch die Optimierungsmaßnahmen kann bei dem jetzigen Warmwasserverbrauch von ca. 178 Liter pro Tag in den Sommermonaten ein solarer Deckungsgrad von 100 % erreicht werden. Dadurch werden die Kosten für die elektrische Nachheizung eingespart.

$$K = 1910 \text{ kWh/a} \cdot 0,22 \text{ ct/kWh} = 420,20 \text{ €/a}$$

Die eingesparten Kosten betragen ca. 420 Euro pro Jahr, hinzu kommt die Einsparung von Fernwärme durch den erhöhten Ertrag in den Wintermonaten, die Kostenersparnis wurde hier nicht berücksichtigt und kann am Ende des Jahres mit Hilfe der Wärmemengenzähler berechnet werden.

6 Vorschläge für weitere Maßnahmen

6.1 STB Heizpatrone

Ein großes Problem, was noch nicht behoben werden konnte, ist die frühzeitige Auslösung des Sicherheitstempurbegrenzers der Heizpatrone im Hauptpuffer. Der STB spricht ab einer Temperatur von ca. 85°C an, die Puffer sollten ursprünglich auf 93°C geladen werden. Damit der STB nicht jedes Mal auslöst wenn die Puffer über 85°C geladen werden, wurde die Speicherbegrenzungstemperatur auf 80°C herabgesetzt. Dadurch kann nicht soviel Wärme gespeichert werden, der Nutzungsgrad sinkt. Es muss dringend ein neuer STB mit einer Ansprechtemperatur von ca. 100°C eingebaut werden, ggf. ist die komplette Heizpatrone zu tauschen.

Wenn ein neuer STB eingebaut ist, muss die Programmierungsversion „fh_opti5“ wieder auf die Regelung übertragen werden.

6.2 Strahlungssensor

Um die Leistung der Sonneneinstrahlung mit dem solaren Ertrag der Solaranlage zu vergleichen ist ein Strahlungssensor erforderlich. Es wäre schön diesen Sensor zusätzlich an die UVR 1611 anzuschließen und die Strahlungswerte mittels Datenlogging zu dokumentieren.

Da der Datenlogger nur einen begrenzten Speicherplatz zur Verfügung hat, ist es notwendig die gespeicherten Daten wöchentlich auszulesen.

Die Kosten für einen Strahlungssensor betragen incl. Mwst. ca. 35 Euro.

6.3 Fernwärmezählung

Momentan muss der Zählerstand der Fernwärme im Heizungsübergaberaum bei den Herren WC's manuell am externen WMZ abgelesen werden. Über das vorhandene Netzwerkmodul ist es möglich den Zählerstand auszulesen. Es ist zu prüfen ob der Zählerstand auf die UVR 1611 gelegt und im Onlineschema in Echtzeit angezeigt werden kann. Verwendet der externe Zähler einen CAN-Bus, so kann der Zählerstand direkt ausgelesen werden. Bei einem EIB- bzw. M-Bus muss ein Bus-Modul angeschafft werden, die Kosten hierfür betragen incl. Mwst. ca. 180 Euro. Zusätzlich muss (falls nicht vorhanden) ein zweiadriges Kabel von der Zählerstation zur Solarregelung verlegt werden.

6.4 Durchflussmesser Zirkulation

Da ich große Schwierigkeiten hatte den Durchfluss der Zirkulationsleitung zu messen, empfiehlt es sich für zukünftige große Anlagen einen Durchflussmesser zu installieren, die

Kosten hierfür betragen incl. Mwst. ca. 80 Euro. Konkrete, zuverlässige Werte zum Verhältnis zwischen Zirkulations- und sonstigen Verlusten können erst nach der Installation eines Durchflussmessers gemacht werden. Momentan kann ich nur sagen, dass die Zirkulationsverluste zusammen mit den Wärmeverlusten durch schlechte Dämmung zusammen ca. 79 % ausmachen.

Um die Verluste einzudämmen ist es sehr wichtig die richtigen Werte zu ermitteln. Sollte sich zum Beispiel herausstellen, dass meine Werte stimmen und somit die sonstigen Verluste fast 68 % ausmachen, besteht für die Dämmungsmaßnahme in der Zentrale eine noch größere Dringlichkeit.

6.5 Durchflussmesser Solarkreis primär

Für eine Funktionskontrolle des primären Solarkreises wäre ein Durchflussmesser sinnvoll. Bei Dampf oder Luft im Kollektor würde bei eingeschalteter Pumpe kaum ein Durchfluss entstehen, eine Fehlermeldung könnte darauf aufmerksam machen.

6.6 Automatischer Entlüfter Solarkreis primär

Da ein Lufteintrag im primären Solarkreis unvermeidbar ist, muss dieser regelmäßig entlüftet werden. Es wäre von Vorteil am Feinstluftabscheider in der Zentrale einen automatischen Entlüfter einzubauen. Falls es der Platz erlaubt wird er noch von unserer Seite aus eingebaut.