

Modellvalidierung und Optimierungspotentiale einer solarintegrierten Wärmeversorgungsanlage unter Berücksichtigung des Einflusses von Nahwärmenetz und Brennwertkessel

M. Krause, M. Uecker, A. Ratka, M. Hampel, K. Vajen, H. Ackermann

Universität Marburg, Fachbereich Physik, D-35032 Marburg

Tel.: 06421/284131; Fax: 06421/286535; e-mail: solar@physik.uni-marburg.de



1 Motivation

Da Solaranlagen in der Regel nicht für eine solare Vollversorgung konzipiert werden, stellt die Nachheizung bei jeder solarintegrierten Wärmeversorgungsanlage (WVA) eine bedeutende Komponente dar, auf deren optimalen Betrieb in dem selben Maße geachtet werden muß, wie auf den der eigentlichen Solarkomponenten. Beim Betrieb dieser Nachheizung müssen aber insbesondere die mitunter starken Wechselwirkungen mit den Solarkomponenten (z.B. hohe Rücklauftemperaturen der Speichernachheizung) mit berücksichtigt werden.

Daher ist es sinnvoll, bei Simulationsrechnungen auch das gesamte Nachheizsystem mit zu untersuchen und hierbei die benötigte Brennstoffmenge zu betrachten, die Größe also, die eigentlich auch minimiert werden soll. Dieses Vorgehen setzt das Vorhandensein von validierten Modellen auch für die Nachheizkomponenten voraus.

Im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen wurde eine große solarintegrierte WVA, bestehend aus drei Wohnhäusern, einem Nahwärmenetz und einem zentral installierten Brennwertkessel, mit Hilfe des Simulationsprogramms TRNSYS modelliert. Hierzu wurden die Modelle für die Nachheizung anhand von Meßdaten validiert, woraufhin in einem zweiten Schritt dann das Brennstoffeinsparpotential berechnet wurde, welches sich durch verschiedene Optimierungsschritte beim Abnahmesystem und der Nachheizung ergibt (vgl. [Kra99]).

2 Vorstellung des vermessenen Solarsystems

Abb.1 zeigt den hydraulischen Aufbau der untersuchten Anlage Marburg - Wehrda, welche bereits mehrfach auf Fachtagungen vorgestellt wurde (vgl. z.B. [Uec98]).

Sowohl die fossile Nachheizung der Pufferspeicher als auch die Beheizung der Wohnräume wird über ein insgesamt 470 m langes Nahwärmenetz (NWN) realisiert, an dessen Ende sich die Heizzentrale mit einem 530 kW Gas-Brennwertkessel (BWK) befindet. Innerhalb dieser Heizzentrale ist die Möglichkeit einer zusätzlichen Installation eines Blockheizkraftwerks (BHKW) gegeben.

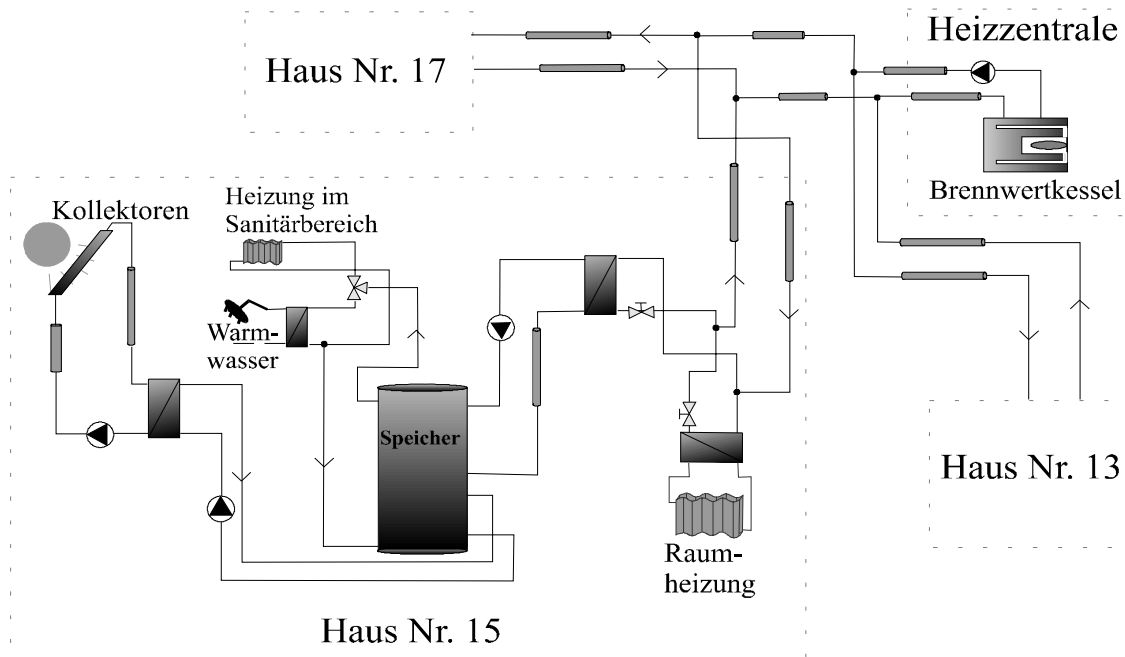


Abb. 1: Hydraulikschema des Wärmeversorgungssystems Marburg - Wehrda bestehend aus drei baugleichen Wohnhäusern mit Platz für jeweils 80 StudentInnen, einer Kollektorfläche von 45, 52.5 und 60 m² auf den einzelnen Wohnhäusern und je einem 4 m³ Speichersystem, über welches die Warmwasserversorgung und die Beheizung der Duschräume gesichert wird. Es handelt sich bei der Solaranlage also nicht um eine reine Warmwasserbereitungsanlage, was zu höheren Lastrücklauftemperaturen führt. Bei jeder Be- und Entladung des Speichersystems liegt eine hydraulische Trennung von diesem vor.

3 Vorgehensweise und Vorstellung der Modelle

- Untersuchung der gesamten Anlage bezüglich ihres Optimierungspotential mit Hilfe von Simulationsrechnungen. Hierbei lag das Hauptaugenmerk auf den Komponenten, die direkten Einfluß auf den BWK bzw. das Nahwärmenetz ausüben.
- Weiterentwicklung der bestehenden TRNSYS - BWK - Types von C. Beurer [Beu93] und A. Koschak [Kos97].
- Auswahl eines Modells, welches mit Hilfe von Validierungsrechnungen die beste Übereinstimmung mit den Langzeitmeßdaten erzielte. Zur korrekten Abbildung des dynamischen Verhaltens der Nachheizung bezüglich der Vorlauftemperaturen wird das neue TRNSYS-Modell mit Hilfe eines neuentwickelten TRNSYS-PID-Reglers innerhalb des Modulationsbereichs geregelt.
- Aufbau des Nahwärmenetzes mit Hilfe des Standard-Rohrleitungsmodells von TRNSYS.
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Rohrisolierungen durch Parameteranpassung unter Verwendung der gemessene Temperatur des ungestörten Erdreichs als Außentemperatur der Rohre.

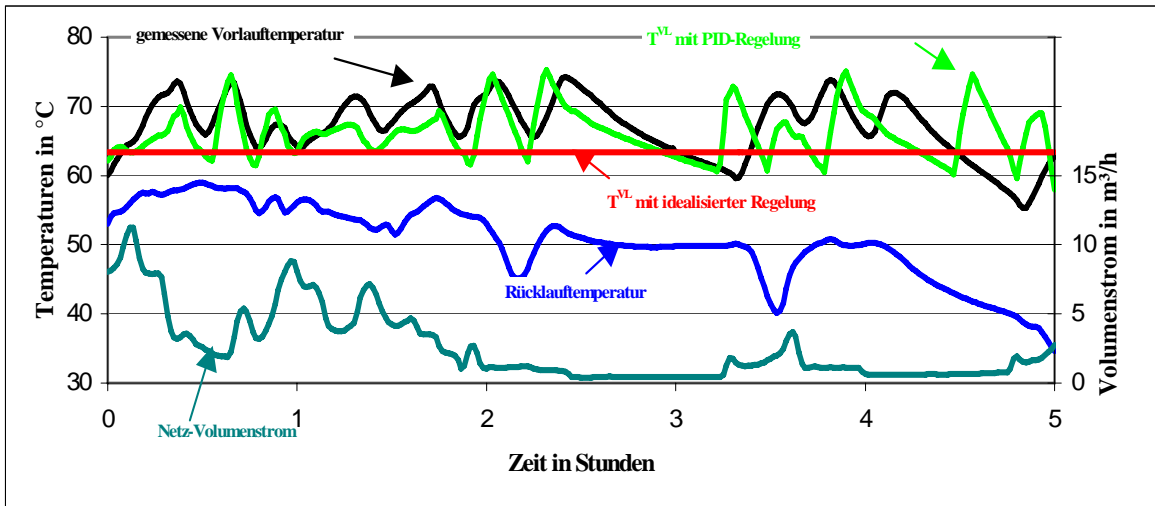


Abb. 2: Vergleich von gemessenen und simulierten Vorlauftemperaturen am Brennwertkessel sowohl für das ausgewählte Kesselmodell, bei dem die Leistungsregelung mit Hilfe eines PID-Reglers vorgenommen wird, als auch für das Ursprungsmodell, welches idealisiert auf eine Sollvorlauftemperatur geregelt wird.

Bei den Vergleichen der Kesselmodelle zeigte sich, daß das thermische Verhalten eines Kessels mit allen zur Verfügung stehenden Modellen sehr gut wiedergegeben werden kann. Die Hauptfehlerquelle der Modelle liegt jedoch bei der Regelungsabbildung. Wie Abb. 2 zeigt, kann das weiterentwickelte Modell mit Hilfe der PID-Regelung durch die Berücksichtigung von Störgrößen wie Rücklauftemperatur und Volumenstrom bessere Übereinstimmungen mit den Meßwerten als mit Hilfe einer idealisiert angenommenen Regelung erzielen, so daß mit dieser Regelung die Tendenz des Temperaturverhaltens richtig vorhergesagt werden kann.

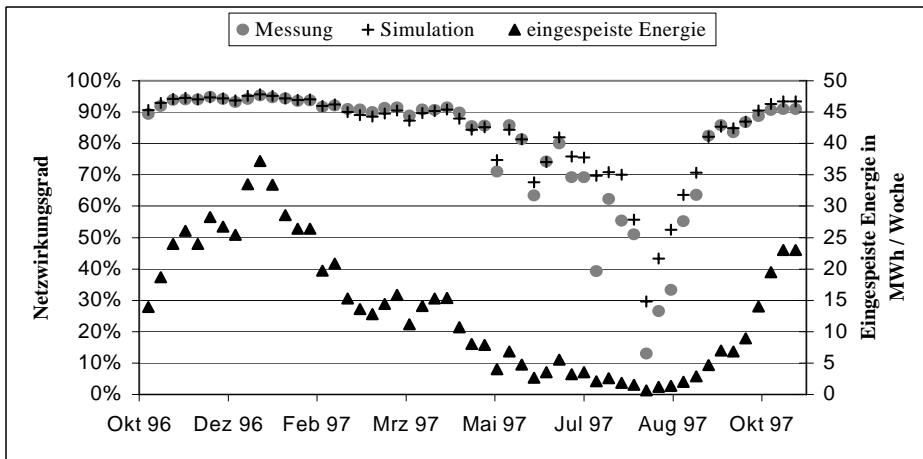


Abb. 3: Vergleich der Wochenwerte von gemessenem und simuliertem Netzwirkungsgrad. Zusätzlich ist auf der rechten Ordinate die gemessene pro Woche ins Nahwärmenetz eingespeiste Energie dargestellt. Eingangsgrößen für die Simulation waren nur Verbrauchs- und Wetterdaten.

Die Darstellung des Wochenwirkungsgrades des Nahwärmenetzes in Abb. 3 verdeutlicht, daß das NWN mit den Standard-Rohrleitungsmodellen sehr gut abgebildet werden kann. Die Abweichungen in den Sommermonaten beruhen auf dem stark anwachsenden Meßfehler bei geringen Netzvolumenströmen.

4 Untersuchungsschwerpunkte

Ausgehend von Jahressimulationsrechnungen wurde mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Modelle und der in Abb. 1 dargestellten Systemverschaltung das Optimierungspotential verschiedener Veränderung an der Anlage untersucht. Hierdurch sollte ermittelt werden, bei welchen Komponente die sensitiven Stellen einer solaren Wärmeversorgungsanlage bezüglich des fossilen Primärenergieverbrauches liegen und wie sorgsam bei der Planung, Auslegung und Installation insbesondere auch der konventionellen Komponenten einer solarintegrierten WVA vorgegangen werden sollte.

Diese Untersuchungen teilen sich in folgende Gebiete auf:

1. Änderungen von Regelstrategien,
2. Änderungen an der Dimensionierung einzelner Komponenten,
3. Änderungen des hydraulischen Schaltschemas.

Zu Punkt 1 zählt, neben einer Veränderung der außentemperaturgeregelten Kennlinie der Rücklauftemperatur am Gebäudeheizungswärmeübertrager, die Optimierung der Speichernachheizung.

Bei Punkt 2 wurde das energetische Einsparpotential einer optimalen Auslegung der Wärmeübertrager zur Warmwasserbereitung mit den Folgen für die Speicherverluste und Kollektorgewinne aufgrund der niedrigeren Rücklauftemperaturen zu den Speichern untersucht.

Bei Punkt 3 wurde der Einfluß des Nahwärmenetzes auf den Primärenergieverbrauch untersucht, wobei eine dezentrale Wärmeversorgung betrachtet wurde, bei der in jedem der drei Wohnhäuser ein eigener Brennwertkessel mit einer Leistung von 200 kW installiert ist. Bei einer zweiten Variante wurde zusätzlich zum BWK der Einsatz eines BHKW untersucht, wobei neben einer möglichen Energieeinsparung die gegenseitige Beeinflussung von Solaranlage und BHKW von Interesse war.

Der Überblick über die möglichen fossilen Primärenergieeinsparungen in Tab.1 verdeutlicht, daß das größte Potential, unter der Annahme, daß die erzeugte elektrische Energie mit einem Kraftwerkswirkungsgrad von 31 % als Gutschrift in die Rechnung mit einbezogen wird, beim Einsatz eines BHKW liegt. BHKW und Solaranlage beeinflussen sich allerdings bezüglich der jeweilige Energieeinsparpotentiale gegenseitig sehr, weshalb ein gleichzeitiger Einsatz nur bedingt in Frage käme. Für diesen spräche jedoch, daß die Solaranlage im Sommer dazu beitragen kann, ein häufiges Takten des BHKW zu vermeiden.

Ohne die Existenz des Nahwärmenetzes, welches aber für den effektiven Einsatz eines

BHKW notwendig ist, wäre an der vorliegenden Anlage eine erhebliche Energieeinsparung möglich gewesen, die dezentrale Wärmeversorgung im vorliegenden Fall also zu bevorzugen. Die Optimierung der Speichernachheizung hat gezeigt, daß bei der Minimierung des Energieverbrauchs ein Strafterm in die Berechnung mit einbezogen werden muß, der sicherstellt, daß zu jedem Zeitpunkt, oder ggf. mit tolerierbaren Einschränkungen, der Warmwasserverbrauch vollständig gedeckt werden kann.

Bei den Untersuchungen bezüglich möglicher Absenkungen von Temperaturniveaus zeigte sich, daß hierbei das jeweilige mögliche Einsparpotential von der Qualität einzelner Anlagenkomponenten, wie z.B. Brennwertkessel oder Speicherisolierungen, abhängt. Durch gleichzeitiges Optimieren verschiedener Komponenten ist jedoch auch hier eine beträchtliche Energieeinsparung möglich.

Anlagenveränderung		Senkung des Primärenergieverbrauchs	
		in MWh	in %
1	Vergrößerung der Gesamtkollektorfläche um 30 m ²	7.5	1.0
2	Absenkung der Gebäudeheizungskennlinien um 10 K	2	0.3
3	Thermische Optimierung des Brennwertkessels	19	2.5
4	Gleichzeitiges Durchführen von Punkt 2 und 3	28	3.6
5	Maximal mögliche Absenkung der Lastrücklauftemperaturen	25	3.3
6	Absenkung der Speicherrücklauftemperatur und Beheizung der Duschräume über die Gebäudeheizungswärmeübertrager	9	1.2
7	Optimierung der Speichernachheizung	17	2.2
8	Gleichzeitiges Durchführen von Punkt 2, 3, 5 und 7	65	8.4
9	Dezentrale Wärmeversorgung ohne Nahwärmenetz	58	7.5
10	Einsatz eines BHKW mit einer Leistung von 25 kW _{therm}	159	20.6

Tab. 1: Optimierungspotentiale der Wärmeversorgungsanlage Marburg-Wehrda ausgehend von einem fossilen Primärenergieverbrauch der Referenzanlage von 772 MWh. Die Primärenergieeinsparung durch die installierte Kollektorfläche beträgt ca. 60 MWh pro Jahr.

[Uec98]: Uecker, M., Ratka, A., Wagner, R., Vajen, K., Ackermann, H.: Auswirkungen von Parameterunsicherheiten auf die Genauigkeit von Ertragsprognosen für größere solarintegrierte Wärmeversorgungsanlagen, Tagungsbericht 8. Symposium Thermische Solarenergie, 13.-15.5. 1998, Staffelstein S. 298-302

[Kos97]: Koschack, A.: "Ergänzung des TYPE 170 um einen Simulationsmodus zur realitätsnahen Simulation des Betriebsverhaltens von Gaskesseln mit Takten", TRNSYS-Userstag 1997

[Beu93]: Beurer, C.: „Simulation eines solar unterstützten Heizungs- und Warmwasserbereitungssystems in Verbindung mit einem Gas-Brennwertkessel“, Diplomarbeit am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart 1993

[Kra99]: Krause, M.: „Modellvalidierung und Optimierungspotentiale einer solarintegrierten Wärmeversorgungsanlage unter Berücksichtigung des Einflusses von Nahwärmenetz und Brennwertkessel“, Diplomarbeit am Fachbereich Physik der Universität Marburg 1999