

Integration einer solar unterstützten Nahwärmeversorgung im Bestand am Beispiel des Hegau-Jugendwerkes

*J. Nußbicker¹⁾, S. Raab¹⁾, Th. Schmid²⁾, D. Mangold²⁾,
W. Heidemann¹⁾, H. Müller-Steinhagen^{1), 2), 3)}*

¹⁾Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart,
Tel. +49-(0)711/685-3536, Fax +49-(0)711/685-3503
Email: nussbick@itw.uni-stuttgart.de

²⁾Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT)

³⁾DLR Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik (ITT)

Einleitung

Das Hegau-Jugendwerk (HJW) ist ein neurologisches Fachkrankenhaus, das speziell für Kinder und Jugendliche konzipiert wurde. Da die Behandlung oft mehrere Monate dauert, wird neben der medizinischen Behandlung und Rehabilitation auch der Ausbildung ein hoher Stellenwert eingeräumt. Unter anderem wurden im Rahmen der Ausbildung im Jahr 2000 Kollektoren für eine Solaranlage zusammen gebaut. Aufgrund der dabei gemachten guten Erfahrungen ist die Idee entstanden, in einer Studie verschiedene Möglichkeiten einer solar unterstützten Nahwärmeversorgung (SuN) untersuchen zu lassen. Dies ist eine der ersten Studien zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicherung, die sich mit dem Bestand befasst. Da durch die Haushalte und hier insbesondere die Gebäudeheizung fast 1/3 des Endenergieverbrauchs in Deutschland verursacht wird, müssen in diesem Bereich zukünftig verstärkt Anstrengungen unternommen werden, dieses Energieeinsparpotential zu erschließen. Hier sind insbesondere Lösungen zu entwickeln, die hohe Netztemperaturen und lange Sanierungszeiträume berücksichtigen.

Aktueller Stand

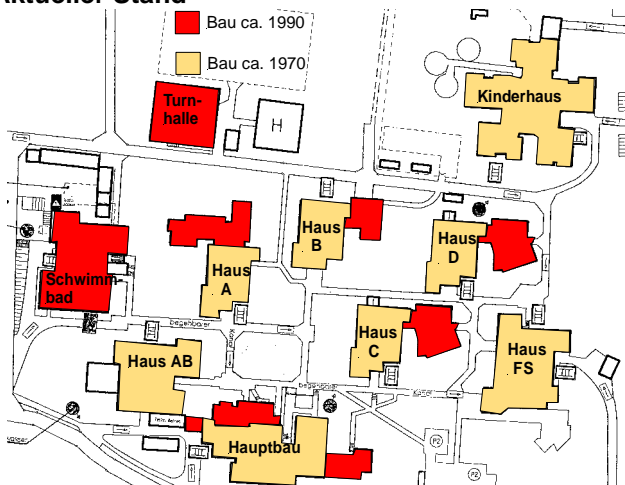


Bild 1: Lageplan der Gebäude des Hegau-Jugendwerkes

Derzeit besteht das Hegau-Jugendwerk aus 10 Gebäuden (siehe Bild 1), darunter eine Schule (Haus FS), eine Turnhalle und ein Schwimmbad. Das Hegau-Jugendwerk verfügt über ca. 220 Betten.



Bild 2: Südansicht eines Gebäudes von ~1970

Die Gebäude des Hegau-Jugendwerkes wurden seit den 1970er Jahren gebaut (siehe Bild 2) und müssen in den nächsten Jahren umfassend saniert werden. Dies ist notwendig, um die derzeitigen Anforderungen an das Raumprogramm erfüllen zu können. Außerdem werden die Gebäude wärmetechnisch saniert. In den 1990er Jahren wurden einige Gebäude erweitert. Diese Gebäudeteile werden in absehbarer Zeit nicht saniert.

Die Wärmeversorgung der Gebäude erfolgt derzeit durch zwei Niedertemperatur-Gaskessel (je 1,86 MW) und eine Solaranlage. Die 448 m² große Solaranlage befindet sich auf dem Dach des Schwimmbades und ist seit 2000 in Betrieb. Es werden im Hegau-Jugendwerk etwa 5500 MWh/a benötigt (Gesamtwärmebedarf). Davon liefert die Solaranlage zur Wärmeversorgung des Schwimmbads etwa 200 MWh/a. Das Nahwärmenetz ist als 2-Leiter-Netz ausgeführt und auf Netzvor-/Netzurücklauftemperaturen von 90 bzw. 70 °C ausgelegt. Die Trinkwarmwasserbereitung in den Gebäuden erfolgt mit einem Speicherladesystem mit Zirkulation.

Der Wärmebedarf

Da keine detaillierten Messwerte des Lastverhaltens zur Verfügung standen, wurde der Heizwärmebedarf der Gebäude mit TRNSYS /1/ simuliert und mit Messwerten des Gasverbrauchs sowie mit Lastgängen einzelner Tage abgeglichen. Für die Gebäude aus den 1970er Jahren (Altbauten) ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 193 kWh/(m²a) und für Gebäude aus den 1990er Jahren (Neubauten) von 74 kWh/(m²a). Der Gesamt-Heizwärmebedarf beträgt etwa 3363 MWh/a (vgl. Tabelle 1). Der Wärmebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung wurde unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten berechnet und beträgt 585 MWh/a.

Mit Netzverlusten von 14 % und einem Kesselnutzungsgrad von 85 % (Angabe HJW) ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf von 5373 MWh/a. Dies entspricht dem gemessenen jährlichen Wärmebedarf des Hegau-Jugendwerkes. Die Netzverluste wurden auf Basis der Rohrleitungslängen und verwendeten Materialien berechnet.

Tabelle 1: Wärmebedarf im Bestand und im Endzustand (simuliert)

| Heizung | | Bestand | Endzustand |
|------------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| Gebäude | MWh/a | 2749 | 1327 |
| Turnhalle | MWh/a | 100 | 100 |
| Schwimmbad | MWh/a | 514* | 514* |
| Trinkwarmwasser | | | |
| Schwimmbad | MWh/a | 42* | 42* |
| Gebäude | MWh/a | 543 | 566 |
| Netzverluste | % | 14 | 17 |
| Wärmebedarf ab Heizzentrale | MWh/a | 4567 | 3062 |
| Nutzungsgrad Gaskessel | % | 85 | 85 |
| Gasbedarf Gaskessel gesamt | MWh/a | 5373 | 3602 |

* ohne Wärmelieferung Solaranlage

Die Turnhalle und das Schwimmbad werden nicht saniert, von den weiteren Gebäuden werden 75 %, bezogen auf die Nutzfläche, saniert. Dies entspricht dem gesamten Altbauanteil. Der wärmetechnische Sanierungsvorschlag für die Gebäude wurde unter der Maßgabe erarbeitet, dass die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Altbauten eingehalten werden. Um die Anforderungen der EnEV erfüllen zu können, müssen Fenster mit einem U_W -Wert von höchstens $1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingebaut werden. Die Außenwände müssen mit 100 mm, das Dach mit 140 mm und der Boden mit etwa 70 mm dickem Dämm-Material (WLG 040) gedämmt werden.

Nach der wärmetechnischen Sanierung der Altbauten (Endzustand) ergibt sich ein Heizwärmebedarf, der nur noch etwa halb so hoch ist wie im Bestand. Für den Endzustand wurde angenommen, dass die Nutzfläche der Gebäude um etwa 600 m^2 erweitert und das Raumkonzept geändert wurde. Aus den höheren Belegungszahlen ergibt sich ein geringfügig höherer Trinkwarmwasserbedarf als im Bestand.

Ergebnisse der Lastsimulationen

Bild 3 zeigt den monatlichen Wärmebedarf der einzelnen Verbraucher im Bestand und im Endzustand. Der Heizwärmebedarf der Gebäude hat den überwiegenden Anteil am Wärmebedarf und daher das größte Energieeinsparpotential. Es ist deshalb aus energetischer Sicht sinnvoll, vor einer Erweiterung der Solaranlage die Gebäude zu sanieren.

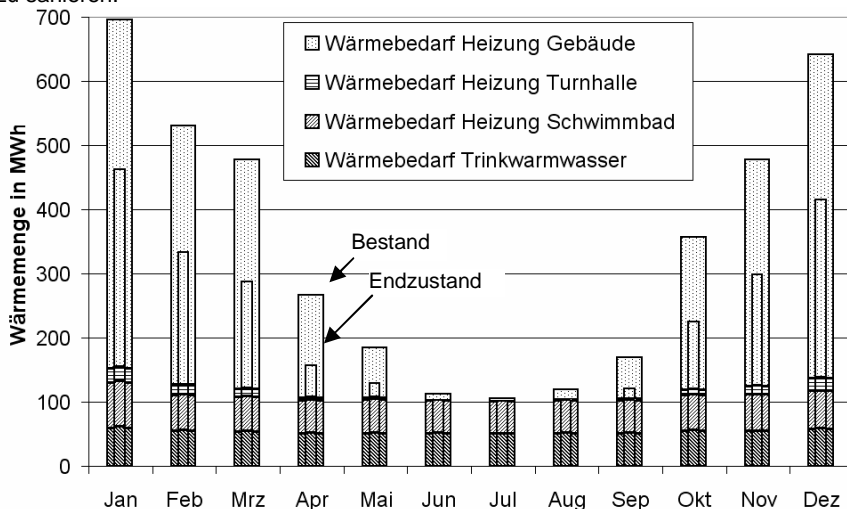


Bild 3: Wärmeharvestebedarf der einzelnen Verbraucher im Bestand und im Endzustand

Die Netzvorlauftemperatur im Auslegungsfall kann nach der Sanierung der Gebäude von $90 \text{ }^\circ\text{C}$ auf ca. $70 \text{ }^\circ\text{C}$ abgesenkt werden. Damit lässt sich nach einer Sanierung und in Verbindung mit einer Einregulierung der Hydraulik eine volumenstromgemittelte Netzrücklauftemperatur von ca. $45 \text{ }^\circ\text{C}$ erreichen; im Bestand beträgt sie ca. $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Eine möglichst niedrige Netzrücklauftemperatur ist für den optimalen Betrieb und die Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen von entscheidender Bedeutung.

Variantenvergleich

Für die Wärmeversorgung wurden Systeme mit einem solaren Deckungsanteil (bezogen auf den Gesamtwärmebedarf) von 15 %, 50 % und 70 % untersucht. Bei Systemen mit einem solaren Deckungsanteil von 15 % wird ein Pufferspeicher benötigt, bei höheren solaren Deckungsanteilen ein Langzeit-Wärmespeicher. Die Simulationen wurden für einen Heißwasser-Wärmespeicher durchgeführt. Die Kollektorausrichtung ist Süden und die Kollektorneigung wurde mit 13° angenommen, da aus architektonischen Gründen eine höhere Kollektorneigung nicht möglich ist. Die Simulationen wurden für den derzeitigen Bestand, den Endzustand und für eine Teilsanierung der Gebäude durchgeführt. Bei der Teilsanierung wurde angenommen, dass die Hälfte der Altbauten (bezogen auf die Nutzfläche) saniert wird. Die Simulation für eine Teilsanierung wurde durchgeführt, da die Sanierung der Gebäude über einen langen Zeitraum (ca. 10 Jahre) erfolgt.

Tabelle 2: Variantenvergleich

| Bestand | Sol. Deckungsanteil | | |
|------------------------------|---------------------|-------|-------|
| | 15 % | 50 % | 70 % |
| V_{Sp} in m ³ | 1040 | 32000 | 55000 |
| A_{Koll} in m ² | 2600 | 10000 | 14000 |
| Teilsanierung | | | |
| V_{Sp} in m ³ | 800 | 25000 | 43000 |
| A_{Koll} in m ² | 2000 | 8500 | 12000 |
| Endzustand | | | |
| V_{Sp} in m ³ | 130 | 13500 | 23000 |
| A_{Koll} in m ² | 1300 | 6000 | 8500 |

In Tabelle 2 sind die Volumina der Wärmespeicher V_{Sp} und die Kollektorgrößen A_{Koll} für die untersuchten solaren Deckungsanteile angegeben. In Bild 4 ist zu erkennen, dass die Solaranlage bei gleichem solarem Deckungsanteil bei dem in Tabelle 2 angegebenen Wärmespeichervolumen etwa doppelt so groß sein muss, wenn die Gebäude nicht saniert werden. Das Volumen des Wärmespeichers muss bei einem solaren Deckungsanteil von 50 bzw. 70 % etwa 2,5-mal so groß

sein, wenn die Gebäude nicht saniert werden. Dies zeigt, dass die wärmetechnische Sanierung der Gebäude nicht nur aus energetischer, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht vor der weiteren Installation von Kollektorfleichen und dem Bau eines Wärmespeichers erfolgen sollte.

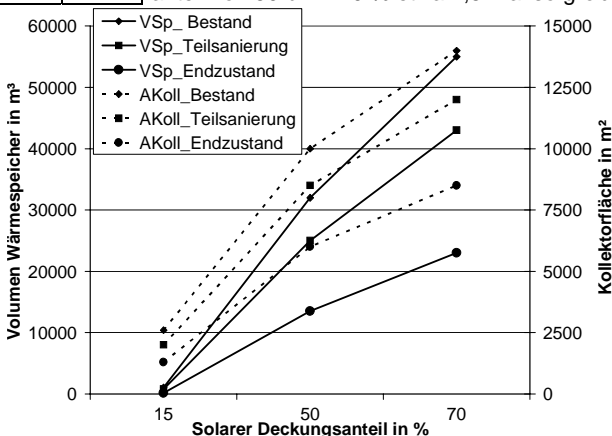


Bild 4: Wärmespeichervolumen und Kollektorgröße in Abhängigkeit vom solaren Deckungsanteil

Neben dem Einsatz von Solarenergie wurde der Einsatz weiterer regenerativer Energien untersucht. Eine Möglichkeit besteht in der Nutzung geothermischer Energie zur Wärmeversorgung, da das Hegau-Jugendwerk im süddeutschen Molassebecken

liegt und dort bereits in einer Tiefe von etwa 2000 m Temperaturen von etwa 50 – 60 °C vorkommen. Die Kosten zur Erschließung sind jedoch sehr hoch. Ein wirtschaftlicher Betrieb wird erst ab einer größeren Wärmeabnahme erreicht /2/. Die Nutzung von Wasserkraft zur Stromerzeugung ist prinzipiell möglich, da das Hegau-Jugendwerk nur 100 m vom Hochrhein entfernt ist. Eine Realisierung erscheint jedoch wenig aussichtsreich, da neben rechtlichen Schwierigkeiten (Grenzgebiet) technische Schwierigkeiten (flaches Gefälle) zu überwinden wären, die hohe Kosten verursachen. Eine weitere Möglichkeit zur Wärmeversorgung ist der Einsatz von Biomasse (z. B. Holzhackschnitzel). In der untersuchten Region ist kein Markt für Holzhackschnitzel vorhanden und ein Transport über längere Strecken (> 100 km) ist aus energetischen Gesichtspunkten nicht empfehlenswert.

Bewertung der Wärmeversorgungsstrategien und Ausblick

Bei einer Berechnung der solaren Wärmekosten werden die Investitions- und Planungskosten der solaren Nahwärme mit einem Zinssatz von 6 % annuisiert. Mit Berücksichtigung der Betriebs- und Wartungskosten ergibt sich ein jährlicher finanzieller Aufwand, der auf die durch die Solaranlage eingesparte Energiemenge bezogen wird. Bei Bezug auf die Endenergiemenge – der Nutzungsgrad des Gaskessels bleibt unberücksichtigt – ergeben sich solare Wärmekosten von 21 Ct./kWh (inkl. MWSt.), wenn für den Bestand ohne Gebäudesanierung eine Solaranlage mit Langzeit-Wärmespeicher mit einem solaren Deckungsanteil von 50 % verwirklicht wird. Die Wärmekosten steigen durch schrittweise Sanierung auf 25 Ct./kWh. Wird zuerst die Gebäudesanierung abgeschlossen, kann zum einen die Netzvor- und auch die Netzurücklaufemperatur abgesenkt werden, zum anderen sinkt der Gesamtwärmebedarf. Die solaren Wärmekosten einer Solaranlage mit einem Deckungsanteil von 50 % für den Endzustand betragen dadurch nur noch 19 Ct./kWh. Für diese Anlage sind Investitionskosten von 3,57 Mio. € aufzuwenden.

Die Kollektorflächen können entsprechend der fortschreitenden Gebäudesanierung installiert werden. Wenn die Wärmelieferung so groß ist, dass die Wärmegewinne nicht mehr direkt im Nahwärmenetz verwendet werden können, wird der Langzeit-Wärmespeicher mit 13500 m³ gebaut. Vor Abschluss der Gebäudesanierung wird die Effizienz der Solaranlage wegen der notwendigen hohen Netztemperaturen gering sein. Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen kann mit der Solaranlage von 6000 m² der geplante solare Deckungsanteil von 50 % bei solaren Wärmekosten von 19 Ct./kWh erreicht werden. Bei einem solaren Deckungsanteil von 70 % (8500 m² Kollektorfläche, Speichervolumen 23000 m³) steigen die Investitionskosten auf 4,89 Mio. €, die solaren Wärmekosten bleiben jedoch bei 19 Ct./kWh. Es wird deshalb die Variante mit einem solaren Deckungsanteil von 70 % empfohlen, sofern die Investitionsmittel aufgebracht werden können.

Literatur

- /1/ TRNSYS Version 15, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin, USA, 2000
- /2/ Müller, et al., Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-Bodensee, 1990

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 0329606S und der Hegau-Klinikum GmbH gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.