



## Thermische Solaranlagen – Studentenwohnheime

Abb. 1



- ▶ **Studentenwohnheime weisen besonderes Profil beim Warmwasserverbrauch auf**
- ▶ **Knappe Dimensionierung dieser Solaranlagen hat sich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewährt**
- ▶ **Erträge und Kosten: Vakuumröhrenkollektoren, aufgeständerte Flachkollektoren und in die Dachfläche integrierte Kollektoren im Vergleich**

*Vakuumröhrenkollektoren an der Fassade des Chemnitzer Studentenwohnheims*

**S**tudentenwohnheime stellen besondere Anforderungen bei der Auslegung von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung: Wie bei anderen Verbrauchern zeigen sich zwar auch bei Studenten morgens und abends Spitzen beim Warmwasserverbrauch. Über den Tag verteilt ist der Warmwasserverbrauch aber ziemlich gleichmäßig, es gibt kein typisches „Verbrauchstal“. Am Wochenende sinkt der Verbrauch gegenüber dem während der Woche. In der Vorlesungszeit ist der Bedarf an Brauchwasser zum Teil doppelt so hoch wie in den Semesterferien von Juli bis September. Auch in den Frühjahrsferien sowie zum Jahreswechsel nimmt der Verbrauch ab. Diesen und ähnlichen Anforderungen stellten sich Wissenschaftsteams an verschiedenen Hochschulen. An Studentenwohnheimen in Chemnitz, Freiburg/Breisgau, Leipzig, Magdeburg und Zwickau wurden Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung errichtet. Die TU Chemnitz und die Hochschule Offenburg begleiteten den gesam-

ten Prozess wissenschaftlich. Auf die Inbetriebnahme folgte ein dreijähriges Intensivmessprogramm mit anschließender Langzeitvermessung. Bis heute zeigt sich, dass die Anlagen gut und weitgehend störungsfrei funktionieren. Die solare Ertragsgarantie konnte unter Berücksichtigung von Verbrauch und Solarstrahlung erreicht werden. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit förderte das Projekt im Rahmen des mittlerweile beendeten Programms Solarthermie2000 Teilprogramm 2. Ziel dieses Vorhabens war es, unterschiedliche Systeme zur aktiven thermischen Sonnenenergienutzung zu erproben und zu optimieren. Die in Pilot- und Demonstrationsanlagen erprobte Systemtechnik zur solar unterstützten Trinkwassererwärmung konnte mittlerweile zur Marktreife geführt werden. In diesem Projektinfo liegt der Fokus auf den Solaranlagen in Chemnitz, Freiburg und Leipzig. Da diese jeweils unterschiedliche Kollektorkonzepte verwenden, ist hier ein Vergleich der Anlagen besonders interessant.

## ▶ Vakuumröhren als Fassadenelement

Das Studentenwohnheim wurde in Chemnitz von 1999 bis 2000 vollständig saniert. Mittlerweile bietet es Raum für 464 Wohnheimplätze. Das Gebäude besteht aus einem Komplex mit zwei nebeneinanderliegenden Flügeln mit jeweils acht Stockwerken. Die Gebäudelängsachse liegt  $14^\circ$  aus der Nord-Süd-Richtung nach Osten gedreht.

### Solaranlage

An der Südseite der Fassade wurden Vakuumröhrenkollektoren installiert, deren Absorber mit einer Neigung von  $30^\circ$  aus der Senkrechten geneigt sind. Da die Anlage über eine Höhe von sechs Stockwerken reicht, sind Wartungsarbeiten hier relativ aufwendig.

Sie können nur mithilfe eines Kranwagens durchgeführt werden.

Die Technikzentralen der Warmwasserbereitung, der Solaranlage sowie des Pufferspeichers befinden sich im Keller. Die temperaturorientierte Einschichtung in die solaren Pufferspeicher erfolgt über Schichtenbeladungen, die Entladung über eine direkte Erfassung des Zapfvolumenstroms.

Bei Vakuumröhrenanlagen mit angestelltem Flachabsorber und engem Röhrenabstand kann eine interne Verschattung der Absorberstreifen auftreten. Dieses Problem konnte anfänglich nicht ausreichend kalkuliert werden. Bei der Überprüfung des Ertragsgarantieergebnisses berücksichtigte man diese Tatsache.

Abb. 2: Fassade mit Vakuumröhrenkollektoren



- Kollektorfläche:  $100 \text{ m}^2$  mit 2 Teilfeldern à  $50 \text{ m}^2$
- Volumen Pufferspeicher:  $7 \text{ m}^3$
- Ausrichtung/Neigung:  $SSO/30^\circ$  aus der Senkrechten
- Kollektoranordnung: Vakuumröhrenkollektoren, an Fassade

## ▶ Gleicher Ertrag – unterschiedliche Absorberbeschichtung

Das Studentenwohnheim in Leipzig besteht aus 1.100 Wohnheimplätzen, welche sich über neun nebeneinanderliegende Häuser verteilen. Von 1995 bis 1998 wurde das Wohnheim vollständig saniert. Die Gebäudelängsachse liegt exakt in Ost-West-Richtung. Die Häuser bestehen aus acht Stockwerken, die in Flachdächern münden.

### Solaranlage

Die Gebäude sind versetzt angeordnet und unterschiedlich hoch. Dies verschattet die Dachflächen zum Teil. Auf drei höher gebauten Gebäuden der Anlage realisierten die Planer schließlich die erforderlichen Kollektorflächen von jeweils  $132,8 \text{ m}^2$ . Die Aufstellung auf Flachdächern hat den

Vorteil, dass die gewünschte Neigung und Ausrichtung realisiert werden kann. Allerdings ist die Montage relativ teuer und Rohrleitungen, welche in der Regel im Dremmel verlegt werden, sind nur schwer zugänglich. Diesem Mehraufwand begegnete man bei der Leipziger Anlage mit der Aufständigung und Vorfertigung der Kollektorteilfelder am Boden.

Zwei Felder sind mit selektiv beschichteten Schwarzchromabsorbern ausgerüstet, ein Feld mit einem Absorber mit Tinox-Beschichtung. Unter nahezu identischen Bedingungen zeigten diese gängigen Beschichtungstypen im Rahmen der Messgenauigkeit keine gravierenden Unterschiede beim Solarertrag.

Abb. 3: Studentenwohnheimanlage in Leipzig



- Kollektorfläche:  $398,4 \text{ m}^2$  mit 3 Teilfeldern à  $132,8 \text{ m}^2$
- Volumen Pufferspeicher:  $2 \times 20 \text{ m}^3$
- Ausrichtung/Neigung:  $S/30^\circ$
- Kollektoranordnung: Flachkollektoren, Flachdach-Aufständigung

## ▶ Eine Zentrale für acht Gebäude

Das Studentendorf Vauban in Freiburg/Breisgau setzt sich aus acht Gebäuden zusammen, die zwischen 1993 und 1998 saniert oder neu errichtet wurden. Insgesamt 580 Studierende finden hier Platz.

### Solaranlage

Das Warmwasser für das Studentendorf wird in einem der Gebäude bereit, in dessen Dach das Kollektorfeld integriert ist. Das zu erwärmende Kaltwasser fließt über die Heizzentrale, wird erwärmt und an die anderen Gebäude verteilt. Die Leitungen vom Dach in die Heizzentrale waren bereits vor Baubeginn vorhanden. Zunächst erfolgte

die konventionelle Nachheizung über erdgasbetriebene Heizkessel. Später wurde auf Fernwärme umgestellt.

Die beiden externen Wärmeübertrager wurden durch Kompaktstationen für die Be- und Entladeseite der Speicher ersetzt sowie die Be- und Entladeregler ausgetauscht. Nach dem Umbau zeigte sich, dass der neu eingesetzte Wärmeübertrager zu klein dimensioniert war und sich dadurch eine geringere Übertragungsleistung einstellte. Eine Verbesserung ergab sich beim Entladewärmetauscher: Bei gleicher Übertragungsleistung führte die verbesserte Entladeregulierung zu einer höheren Trinkwassertemperatur.

Abb. 4: Solaranlage des Studentendorfs Vauban



- Kollektorfläche:  $143 \text{ m}^2$
- Volumen Pufferspeicher:  $6 \text{ m}^3$
- Ausrichtung/Neigung:  $S+5^\circ/38^\circ$
- Flachkollektoren, in Dach integriert

## ▶ Erträge und Einsparungen – Die Ergebnisse im Vergleich

Messwerte der Anlagen in Zwickau und Magdeburg wurden in den folgenden Ausführungen mit aufgenommen. Das  $157,6 \text{ m}^2$  große Kollektorfeld in Zwickau besteht aus

Flachkollektoren mit Flachdach-Aufständigung. Dasselbe System findet man in Magdeburg. Ein  $475 \text{ m}^2$  großes Kollektorfeld befindet sich auf der Mensa, ein  $180 \text{ m}^2$

Feld auf einem Zwischenbau. Ein höherer Verbrauch an Warmwasser kann die Effektivität der Anlage steigern, wenn die Zapfzeiten mit Perioden hoher

**Abb. 5: Auswertung der Erträge (Durchschnittswerte des Gesamtbetriebszeitraums von 5-12 Jahren bis einschließlich 2006)**

Studentenwohnheim	Aktive Kollektorfläche (m <sup>2</sup> )	Warmwasserverbrauch <sup>1)</sup> (%)	Systemnutzungsgrad <sup>2)</sup> (brutto) (%)	Solarer Deckungsanteil <sup>3)</sup> (%)	Spezifischer Solarsystemertrag (kWh/m <sup>2</sup> a)	Garantierter Solarsystemertrag (kWh/m <sup>2</sup> a)	Einsparung konventionelle Energie (MWh)	Vermeidung CO <sub>2</sub> (t)
Chemnitz	100	110	39	15	450	467 <sup>4)</sup>	43,3	25
Leipzig	398,4	126	52	23	630	502	241	69
Freiburg	143	100	54,5	15,8	575	569	84,1	21,8
Zwickau	157,6	98	34	20	424	514	61	17,4
Magdeburg	655	89	45	21	525	458	-	-

<sup>1)</sup> bezogen auf Auslegungswerte; <sup>2)</sup> solarer Ertrag bezogen auf Einstrahlung; <sup>3)</sup> solarer Anteil an Gesamtenergie für Warmwasserbereitung; <sup>4)</sup> nach Korrektur wegen interner Verschattung

Einstrahlungsintensität zusammentreffen. So fällt etwa in Leipzig das typische Verbrauchstal in den Ferien geringer aus, da hier der Anteil ausländischer Studierender relativ hoch. Diese Personengruppe verbringt die Ferien meist am Studienort. Der spezifische Solarsystemertrag ist entsprechend hoch. Insgesamt stimmt durch die wissenschaftliche Begleitung und Auslegung der tatsächliche Warmwasserverbrauch der Anlagen sehr gut mit der Planung überein. Die solaren

Deckungsanteile liegen bei allen Anlagen annähernd im Auslegungsbereich. Die spezifischen Solarerträge sind in Zwickau und Chemnitz niedriger als bei den anderen Anlagen. Dies liegt bei letzterer daran, dass die eingestrahlte Energie bei einer Fassadenanlage nicht so hoch ist, sowie an den bereits genannten Verschattungseffekten. Ursache für die geringen Werte in Zwickau ist die Regelung zur Entladung des solaren Pufferspeichers, die nicht optimiert worden

ist. Dies ist auch der Grund für die geringen Werte beim Systemnutzungsgrad. Lediglich in Zwickau und Chemnitz unterschreiten die spezifischen Solarerträge die garantierten Solarerträge. Hauptursache ist die T\*SOL-Simulation, die einen etwas zu hohen Erwartungswert für den Solarertrag ergibt.

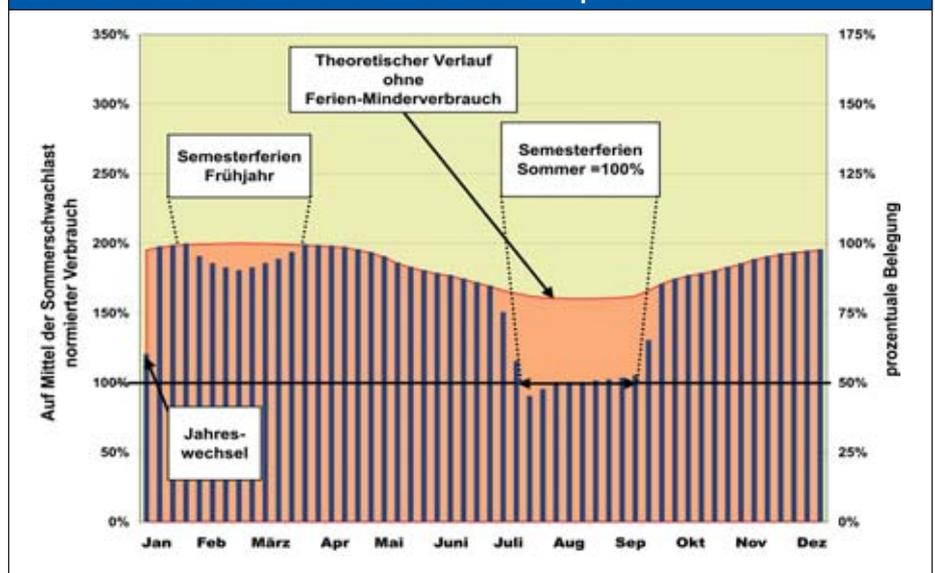
## ► Solare Warmwasserbereitung: Praxishinweise

### Auslegung

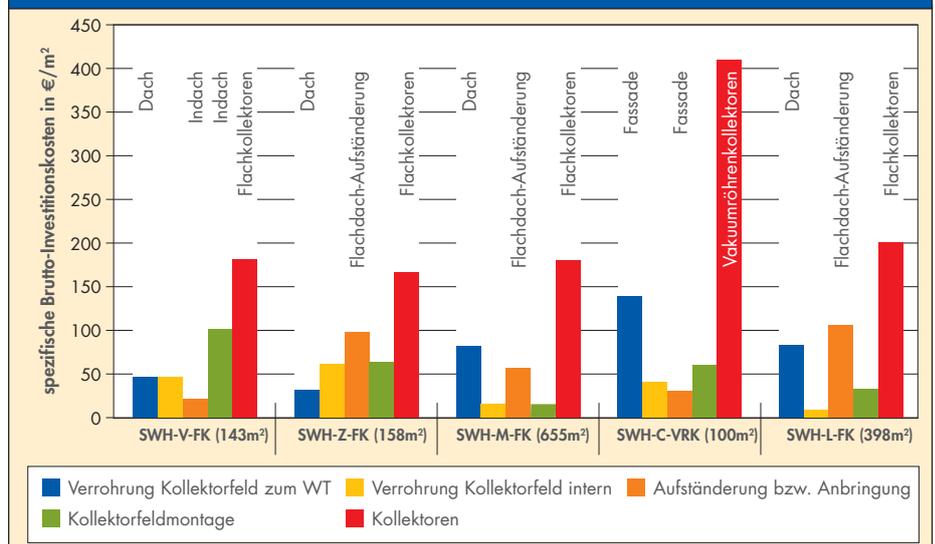
Die ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH entwickelte ein Diagramm (Abb. 6), das ein Jahresprofil des prinzipiellen Verhaltens des Warmwasserverbrauchs für Studentenwohnheime zeigt. Dazu setzten sie den mittleren Warmwasserverbrauch in der Schwachlastzeit der Sommersemesterferien auf 100% (schwarze Linie). Dieser Verbrauchswert, der sich auf die Temperatur von 60 °C bezieht, wird für die Auslegung der Solaranlage benutzt. Alle anderen Verbrauchswerte werden auf diesen Wert bezogen. Eine Auslegung nach dieser Zuordnung ist nur praktikabel, wenn eine Verbrauchsmessung in diesem Zeitraum möglich war. Ansonsten kann auch eine Zuordnung anhand der prozentualen Belegung hilfreich sein.

Die rote Linie zeigt den theoretischen Verlauf des normierten Verbrauchs, wie er ohne die Minderverbräuche während der Ferien aussehen würde. Die ZfS rät, die Verbrauchsmessungen zur Auslegung der Solaranlage in die Sommersemesterferien zu legen, da die mittleren normierten Warmwasserverbräuche in dieser Zeit je nach Art des Wohnheims stark schwanken.

**Abb. 6: Wöchentliche Warmwasserverbräuche als Jahresprofil**



**Abb. 7: Investitionskosten im Kollektorkreis**



### Vereinfachte Auslegungsregeln

- Kollektorfläche: 1m<sup>2</sup><sub>Kollektor</sub> pro 70 Liter täglicher Warmwasserverbrauch (60 °C), also Auslastung von 70l/(m<sup>2</sup> d)
- Pufferspeichervolumen: 50 Liter<sub>Pufferspeicher</sub> pro 1m<sup>2</sup><sub>Kollektor</sub> (bei gleichmäßiger Warmwasserabnahme über die ganze Woche)
- 70 Liter<sub>Pufferspeicher</sub> pro 1m<sup>2</sup><sub>Kollektor</sub> (bei Schwachlasttagen im Wochenverlauf)

## Kosten

In der Regel steigen die Kosten pro Kollektorfläche für Kollektoren mit flacherer Kollektorkennlinie, da hier ein höherer Aufwand für die thermische Isolation nötig ist. Bei den Materialkosten für Auständerung und Anbringung sind die Indach- und Fassadenvarianten in Freiburg und Chemnitz die günstigsten Lösungen (Abb. 7). Mit 655 m<sup>2</sup> Flachdachaufständerung verursachte die Anlage in Magdeburg die geringsten Montagekosten.

Abb. 8: Kosten der einzelnen Anlagen

Studentenwohnheim	Aktive Kollektorfläche (m <sup>2</sup> )	Investitionskosten (inkl. Planung u. MwSt.) in €	Geplante Solare Nutzwärmekosten* in €/kWh	Erreichte Solare Nutzwärmekosten* in €/kWh (ohne Förderung)
Chemnitz	100	117.000	0,13	0,24
Leipzig	398,4	280.500	0,12	0,10
Freiburg	143	114.521	0,12	0,11
Zwickau	157,6	123.000	0,13	0,14
Magdeburg	655	358.800	0,10	0,08

\* Annahme: 20 Jahre angesetzte Systemlebensdauer, Zinssatz: 6%

## Fazit

Ob bei Krankenhäusern, Altersheimen oder eben Studentenwohnheimen: Die Funktionssicherheit und die hohe Leistungsfähigkeit von knapp dimensionierten Anlagen konnte im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie 2000 in verschiedenen Bereichen nachgewiesen werden. Unwirtschaftliche und eventuell die Lebensdauer der Kollektorkreis Komponenten negativ beeinflussende Stillstandszeiten des Kollektorfeldes können so vermieden werden.

Bei streng nach Wirtschaftlichkeitskriterien optimierten (Vorwärm-) Anlagen fallen die solaren Deckungsanteile auslegungsbedingt etwas geringer aus. Mit Werten zwischen 15% und 23% haben sich diese Erfahrungen auch in den zuvor beschriebenen Studentenwohnheimprojekten gezeigt. Allerdings sollte bei der thermischen Sonnenenergienutzung nicht nur die Kostenminimierung im Vordergrund stehen. Eine möglichst hohe CO<sub>2</sub>-Einsparung ist ebenfalls ein wichtiges Argument dafür, einen relativ hohen solaren Deckungsanteil anzustreben. Deshalb werden Solaranlagen auch verstärkt zur Heizungsunterstützung ausgelegt, das heißt für höhere solare Deckungsanteile.

Die dargestellten Anlagen haben über die Betriebsdauer von teilweise mehr als zehn Jahren gute Betriebsergebnisse erzielt. Die beauftragten Hochschulen erfassen hier weiterhin Messdaten und werten diese aus. Wissenschaftler der TU Chemnitz entwickeln momentan Berechnungsinstrumente, die das interne Verschattungs- und Rückreflektionsverhalten an Röhrenfeldern in Simulationsprogrammen besser als bisher berücksichtigen.

### PROJEKTADRESSEN

- Technische Universität Chemnitz  
Professur Technische Thermodynamik  
Projektgruppe Solarthermie  
Dr.-Ing. Ulrich Schirmer  
09107 Chemnitz  
Tel.: 0371/531-32546
- SIZ Energie- und Umwelttechnik  
Dr.-Ing. Th. Freitag  
Dr.-Ing. U. Schirmer  
Hauptstraße 17  
09376 Oelsnitz  
info@stz-energie.de
- Hochschule Offenburg  
Forschungsgruppe Nachhaltige Energietechnik  
Prof. Dipl.-Ing. Elmar Bollin  
Badstrasse 24  
77652 Offenburg

### ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Internet

- [www.fh-offenburg.de/mv/st2000/main/vauban/vauban\\_hauptseite.htm](http://www.fh-offenburg.de/mv/st2000/main/vauban/vauban_hauptseite.htm)
- [www.solarthermie2000.de](http://www.solarthermie2000.de)
- [www.solarthermie2000plus.de](http://www.solarthermie2000plus.de)

#### Literatur

- Peuser, F.A.; Croy, R.; Schumacher, J. u. a.: Langzeiterfahrungen mit thermischen Solaranlagen. Abschlussbericht zu Solarthermie 2000, Teilprogramm 1. ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Hilden (Hrsg.)
- Freitag, T.; Niersmann, U.; Schirmer, U. u. a.: Wissenschaftliche Programmbegleitung und Messprogramm Solarthermie 2000 und Beginn Solarthermie 2000+. Schlussbericht. verfügbar ab 9/2008
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg (Hrsg.): ConCheck, Entwicklung und Erprobung von Regelungssystemen für die Be- und Entladeseite von großen solarthermischen Anlagen. BMWi-Förderkennzeichen 0329270. 2003

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1 – 3 und Abb. 5 – 8:  
Technische Universität Chemnitz
- Abb. 4: Fachhochschule Offenburg

## PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
11055 Berlin

Projektträger Jülich  
Geschäftsbereich Erneuerbare Energien  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Peter Donat  
Zimmerstraße 26-27  
10969 Berlin

- Förderkennzeichen  
0329602 T, 0329603 F, 0329652 J,  
0329601 C+K, 0329601 H+ M

## IMPRESSUM

- ISSN  
0937 – 8367

- Herausgeber  
FIZ Karlsruhe  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- Nachdruck  
Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

- Autorin  
Birgit Schneider

## BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

#### Kontakt

Fragen zu diesem **projektinfo**?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**Tel.: 0228 92379-44**



FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0  
Fax: 0228 92379-29

[bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)