

# Machbarkeitsstudie „Solaranlagen auf Wohnheimen des Studierendenwerks Trier“



erstellt durch den

Solarverein Trier e.V.

Am Knieberg 29

D-54293 Trier

in Kooperation mit dem

Kompetenzzentrum Solar an der Fachhochschule Trier

Fachrichtung Gebäudetechnik,

Versorgungstechnik, Energietechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Menke

Schneidershof

D-54293 Trier

gefördert durch das

Ministerium für Umwelt, Forsten und

Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz

Endfassung Stand 27. April 2009

Rheinland-Pfalz



Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz



FACHHOCHSCHULE TRIER

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Gestaltung  
University of Applied Sciences



## **Vorwort**

Diese Studie entstand aus der Erfahrung von 14 Jahren Solaranlagenbau in der Praxis durch den Solarverein Trier e.V.. Wir starteten mit selbstgelöteten Kollektoren nach dem Prinzip der AEE (Arbeitsgemeinschaft erneuerbarer Energien, Österreich) und bauen heute vornehmlich Großanlagen mit Hochleistungskollektoren.

Diese Studie soll das Studierendenwerk in die Lage versetzen, die grundlegenden Entscheidungen für die solare Versorgung der Studentenwohnheime zu treffen und sie mit den wichtigsten Details einer kostenoptimierten Solaranlagenplanung vertraut machen.

Diese Studie wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Trotzdem übernehmen wir keinerlei Haftung für eventuelle Schäden, die durch fehlerhafte oder falsche Beschreibungen entstehen. Die Studie ist für Entscheider bestimmt und soll grundsätzliche Feststellungen treffen. Sie ist keine Planungsunterlage und kann und soll eine Fachplanung durch einen erfahrenen Ingenieur vor der Realisierung der Anlagen nicht ersetzen.

Unser besonderer Dank gilt allen, die uns bei der Erstellung dieser Studie unterstützt und sie möglich gemacht haben: Andreas Wagner und Josef Eiden vom Studierendenwerk Trier, Professor Christoph Menke von der FH Trier, Professor Karl Keilen vom Umweltministerium Rheinland-Pfalz sowie natürlich den Hausmeistern in den einzelnen Wohnheimen.

Trier im April 2009

Harald Kissel, Sofia Freitas, Matthias Gebauer  
Solarverein Trier e.V.

## **Quellennachweis:**

Alle Photos, Grafiken und Schaubilder, soweit nicht anders vermerkt, vom Solarverein Trier e.V.  
Luftbilder der Wohnheime von Microsoft Virtual Earth <sup>TM</sup>

# Inhalt

Einleitung .....	1
Klimaschutz und Energiekosten .....	1
Solarenergie zur Erwärmung von Trinkwasser .....	1
Große Solaranlagen zur Erwärmung von Trinkwasser .....	1
Solaranlagen für das Studierendenwerk Trier .....	2
Ziel der Maßnahme .....	3
Thermische Nutzung der Sonnenenergie.....	4
Solares Angebot .....	4
Kollektorbauarten.....	5
Kollektoraufstellung.....	5
Verbindung zwischen Kollektor und Speicher .....	8
Speicheraufstellung .....	8
Spezielle Anforderungen Studentenwohnheime.....	9
Belegung und Verbrauchsprofil .....	9
Notwendige Messungen .....	9
Besonderheiten des Standorts.....	9
Erwartete Verbrauchswerte an erwärmtem Trinkwasser.....	10
Verbesserung der Versorgungssicherheit .....	10
Warmwasser-Zirkulation.....	10
Trinkwasserhygiene (Legionellen).....	11
Untersuchung der Studentenwohnheime des swt Trier .....	13
Kontaktaufnahme und Erstbegehung.....	13
Bestandsaufnahme.....	13
Einbindung von Studenten .....	13
Recherchen und Datenauswertung .....	14
Ursprüngliche Zielsetzung und neue Fördermöglichkeiten.....	14
Objektbeschreibungen .....	15
Allgemein.....	15
Kleeburger Weg .....	16
Martinskloster.....	17
Olewig .....	17
Petrisberg.....	18
Tarforst.....	19
Grobkonzeption .....	20
Grundlegende Systemvarianten.....	20
Solarer Trinkwasserspeicher .....	20
Solarer Pufferspeicher .....	20
Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem.....	22
Einbindung der Heizkreise .....	24
Empfehlung .....	24
Kosten- und Ertragsoptimierung .....	25
Systemkosten in Österreich.....	25
Kostenminimierung und günstige Rahmenbedingungen.....	26
Qualifizierte funktionale Ausschreibung und Verantwortung des Planers.....	27
Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung .....	28
Anlagendimensionierung (Simulations- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen).....	30
Kleeburger Weg .....	30
Martinskloster.....	32
Olewig .....	32
Petrisberg.....	33
Empfehlungen.....	35
Kleeburger Weg .....	35
Martinskloster.....	35
Olewig .....	35
Petrisberg.....	35
Tarforst.....	35
Zusammenfassung.....	35
Literaturverzeichnis.....	36
Anhang: Parameterübersicht zu den Anlagensimulationen.....	38

# Einleitung

## Klimaschutz und Energiekosten

Der Klimawandel und langfristig steigende Energiepreise zwingen zu entschlossenem Handeln. Etwa ein Drittel unserer Primärenergie (Erdöl, Erdgas, Kohle) verbrauchen wir zur Erzeugung von Wärme, den größten Teil davon für Raumheizung und Warmwasser.

Diese Situation erfordert ein rasches und grundlegendes Umdenken für die am Bauen und Wohnen beteiligten Planer und Institutionen. Ein verantwortlicher Umgang mit der Natur und die Nutzung der unerschöpflichen Sonnenenergie müssen Grundvoraussetzung für die künftige Gestalt der gebauten Umwelt sein. Das Ziel dieser Arbeit ist es, Stadträume und Gebäude so (um-) zu gestalten, dass Ressourcen geschont und erneuerbare Energien umfassend genutzt werden.

Erneuerbare Energien, insbesondere wenn sie wie die Wärme von der Sonne ohne Rohstoffe auskommen, haben ein enormes Potential zur Lösung unserer Klima- und Energieprobleme. Das große Potential der Sonnenenergie wird heute, trotz sicherer Wirtschaftlichkeit bei steigenden Energie- bzw. Wärmepreisen, meist nur unzureichend bzw. unbefriedigend genutzt.

## Solarenergie zur Erwärmung von Trinkwasser

Das kostenlose Energieangebot der Sonne kann am einfachsten zur Erwärmung von Trinkwasser zum Duschen und Baden, für die Küche und zum Wäschewaschen genutzt werden.

Zur Erwärmung von Trinkwasser werden bei den konventionellen Verfahren entweder fossile Energieträger verbrannt oder es wird der Endenergieträger Strom genutzt, der zum Teil auch durch Verbrennung konventioneller Energieträger erzeugt wird. Bei diesen Verbrennungsprozessen werden Schadstoffe freigesetzt, die für Mensch und Umwelt giftig sein können. Das bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Stoffe entstehende Kohlendioxid ist einer der Hauptverursacher für den Anstieg der globalen Klimaschäden, den Treibhauseffekt.

Es ist zu beachten, dass der Nutzungsgrad des konventionellen Systems (unterschiedlich hoch im Verlauf eines Jahres) bei der Umrechnung der von der Solaranlage gelieferten Nutzwärme in Brennstoffeinsparung in die Berechnung einfließen muß. Gute Simulationsprogramme, die die Einsparung von konventionellem Brennstoff bzw. von Schadstoffemissionen berechnen, berücksichtigen dies und rechnen z. B. mit einem mittleren gewichteten Jahresnutzungsgrad eines Ölkessels von 85%, d. h. 100 kWh solar erzeugte Wärme ersetzen einen Ölverbrauch von etwa 117 kWh.

Bei der solaren Trinkwassererwärmung ist mit der Einsparung von Energie also eine Reduzierung der Emission von Umweltschadstoffen verbunden. Aber zur Herstellung einer Solaranlage wird stets auch Energie benötigt. Dieser Produktionsprozeß ist mit einer Emission von Schadstoffen verbunden. Vergleicht man die bei der Herstellung des Solarsystems eingesetzte Energie bzw. die dabei emittierten Schadstoffe mit dem in einem Jahr eingesparten Energieinhalt des benutzten Brennstoffs bzw. den vermiedenen Schadstoffemissionen, so erhält man die so genannte energetische bzw. die Schadstoff-Amortisationszeit. Die energetischen und CO<sub>2</sub>-Amortisationszeiten schwanken zwischen 0,6 bis 2,8 Jahren, die Zeiten für andere bei der Produktion anfallende Schadstoffe zwischen 1 bis 5 Jahren. Auch diese Werte liegen noch erheblich unter der Lebensdauer von thermischen Solaranlagen von mindestens 20 Jahren.

Thermische Solaranlagen zeigen also sowohl unter energetischen Gesichtspunkten als auch im Hinblick auf die Vermeidung von Schadstoffemissionen eine sehr positive Bilanz. (VDI 6002 B1.1, S.39)

## Große Solaranlagen zur Erwärmung von Trinkwasser

Im privaten Einsatz im Einfamilienhaus ist dieser Einsatz bereits heute wirtschaftlich darstellbar. Dies gilt natürlich um so mehr für große Anlagen, die eine Vielzahl von Verbrauchern versorgen, da hier Skalenvorteile die Wirtschaftlichkeit stark erhöhen.

Damit ist der Einsatz der Sonnenenergie in Großanlagen in zweifacher Hinsicht interessant und empfehlenswert:

- ◆ Große Solaranlagen erzeugen viel Energie und ersetzen viel fossile Brennstoffe: unsere natürlichen Lebensgrundlagen und endlichen fossilen Energien werden besonders wirkungsvoll geschützt.
- ◆ Bereits bei den heutigen, in Zukunft weiter steigenden Energiepreisen ist der Einsatz der Sonnenenergie in Großanlagen besonders wirtschaftlich.

Deshalb ist es Ziel dieser Studie, die konkreten Voraussetzungen in den Trierer Studentenwohnheimen zu klären und mit einer Grobkonzeption den richtigen und kostengünstigen Weg zur Sonnenenergienutzung aufzuzeigen.

### **Solaranlagen für das Studierendenwerk Trier**

Das Studierendenwerk Trier als rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts betreibt in der Stadt Trier fünf Wohnheime mit insgesamt fast 1600 Plätzen. Drei davon sind in eigenem Besitz, zwei langfristig gepachtet.

Studentenwohnheime sind prinzipiell ideale Einsatzorte von großen thermischen Solaranlagen:

- ◆ Durch die hohe Fluktuation und die Belegung mit aufgeschlossenen, jungen Wissenschaftlern besitzen Solaranlagen auf diesen Häusern ein hohes Demonstrations- und Anschauungspotential.
- ◆ Durch die große Belegungsdichte besteht in den Gebäuden ein hoher Warmwasserverbrauch, selbst wenn er in den Semesterferien auf unter 50% fällt. Damit kann eine thermische Solaranlage auf solchen Gebäuden gut die kostenlose Solarenergie anzapfen und sehr wirtschaftlich arbeiten.

Der wirtschaftliche Betrieb von Studentenwohnheimen ist wichtig, da den angehenden Wissenschaftlern ohne eigenes Einkommen preiswerter Wohnraum zur Verfügung gestellt werden muß. Dies bedeutet in Zeiten stark steigender Energiepreise eine große Herausforderung für die Betreiber.

Das Studierendenwerk Trier möchte deshalb seine Wohnheime mit thermischen Solaranlagen ausstatten. Die Umsetzung thermischer Solaranlagen ist im Ein- und Zweifamilienhaus gängige Praxis, Großanlagen stellen jedoch an die Errichtung und den Betrieb besondere Anforderungen:

- ◆ Anforderungen an die bauliche Integration der Anlage in große bestehende Gebäude,
- ◆ Anforderungen an die Auslegung der Anlage unter Berücksichtigung der Belegungssituation und des entsprechenden Profils des Warmwasserverbrauchs,
- ◆ Anforderungen an die Hygiene der Warmwasserbereitung bei Großabnehmern sowie
- ◆ Anforderungen an die preisgünstige Planung und Errichtung aufgrund beschränkter Mittel und hoher Wirtschaftlichkeitsanforderungen

Sonnenenergie bei Großverbrauchern wie Studentenwerken zu nutzen ist besonders effizient und kostengünstig, insbesondere wenn auch im Hochsommer Warmwassererzeugung und Zirkulation große Mengen Energie verbrauchen. Sonnenenergie zeigt sich bei dieser Anwendung von ihrer besten Seite - auch unter einem anderen Aspekt: Ein Wohnheim ist unbedingt auf eine Warmwasserversorgung, die zuverlässig funktioniert, angewiesen. Eine fehlerfrei arbeitende Solaranlage auf dem Dach des Studentenwohnheims zeigt einmal mehr, daß sich Wärme von der Sonne heute verlässlich nutzen läßt.

Sonnenenergie nutzt also allen: der Universität und dem Studierendenwerk, die einen ökologischen Anspruch einlösen können, dem einzelnen Studentenwohnheim durch das positive Image, den Studenten, die eine moderne Energietechnik - wörtlich genommen - "hautnah" erleben können, und letztlich der gesamten Branche, weil die Kollektoranlage auf dem Studentenwohnheim während ihres mindestens 20-jährigen Betriebs eine Vielzahl von Studenten und Gästen dazu motivieren kann, auch Zuhause die Sonnenenergie anzuzapfen. (Schwenk 1999, S. III)

## **Ziel der Maßnahme**

Die Machbarkeitsstudie soll zu einer möglichst schnellen und effektiven Umsetzung der Solarenergienutzung in den Wohnheimen des Studierendenwerks führen. Damit werden die folgenden Ziele verwirklicht:

- ◆ Nachhaltige CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den Einsatz der unerschöpflichen Sonnenenergie und den Ersatz fossiler Brennstoffe
- ◆ Beispielhafte Umsetzung moderner Solartechnik in mehreren Großobjekten
- ◆ Günstige Wohnkonditionen für Studenten durch dauerhaft niedrige Nebenkosten in den Wohnheimen
- ◆ Anschauliche Ergänzung der Lehre an der FH Trier durch Einbeziehung der Studenten in den Planungsprozess und Präsentation von Anlagentechnik und Betrieb der Solaranlagen.
- ◆ Große zukünftige Multiplikatorwirkung der Anlagen durch hohe Nutzerzahl und Fluktuation in den Heimen
- ◆ Durch geeignete Anzeigeeinrichtungen und deren Sichtbarmachung für die Nutzer und die Allgemeinheit z. B. indem die solaren Erträge auf geeigneten Webseiten sichtbar gemacht werden, kann die Leistungsfähigkeit und der solare Deckungsbeitrag dieser Modellanlagen beispielhaft demonstriert werden und auch in der Lehre genutzt werden.
- ◆ Die Studenten der Versorgungstechnik müssen bereits seit Jahren in einer Seminaraufgabe ein theoretisches Studentenheim mit Solarenergie versorgen. Durch dieses reale Vorhaben können die bisherigen Studentenübungen sehr anschaulich unterlegt werden, was einen sehr großen Praxisgewinn für die Ausbildung der angehenden Versorgungsingenieure bedeuten würde.

Das Land Rheinland-Pfalz unterstützt mit dieser Förderung beispielhaft ein innovatives Studentenwerk bei der Umsetzung anspruchsvoller Solartechnik sowie die Hochschulen in Trier durch anschauliche Beispiele umweltfreundlicher Energieerzeugung.

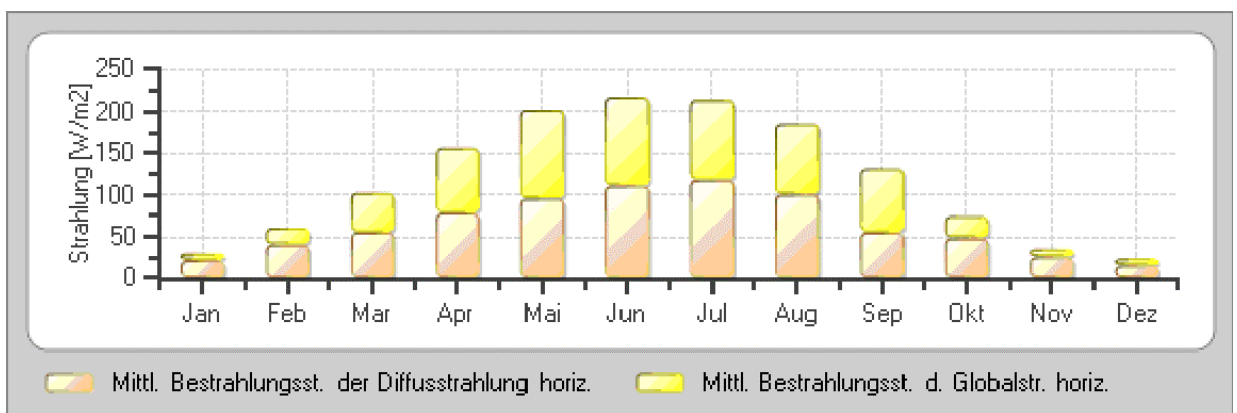
# Thermische Nutzung der Sonnenenergie

## Solares Angebot

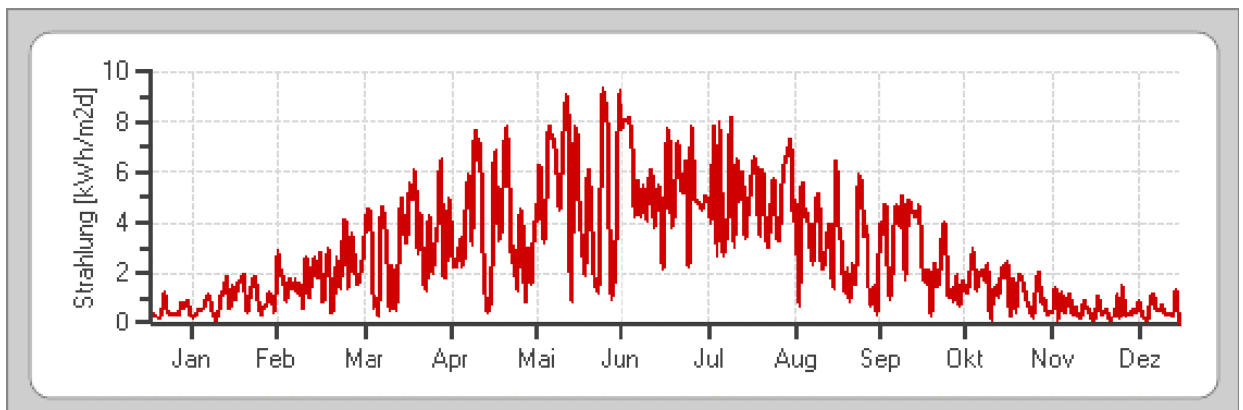
Die auf der Erdoberfläche auf eine horizontale Empfangsfläche auftreffende Leistungsdichte der Globalstrahlung kann bei Sonnenhöchststand etwas über  $1.000 \text{ W/m}^2$  betragen. Ein Teil dieser Strahlung ist diffus (erzeugt durch Reflexion und Streuung in der Atmosphäre), ein Teil gelangt direkt zur Erdoberfläche.

Als Jahressumme treffen in Trier etwa  $1060 \text{ kWh}$  solare Strahlungsenergie pro Quadratmeter auf eine horizontale Fläche. Jeweils etwa die Hälfte davon ist direkte bzw. diffuse Strahlung. Die Unterschiede in den jährlichen Energiesummen verschiedener Jahre sind in der Regel gering. Dagegen sind die jahres- und tageszeitlichen Schwankungen sehr groß. An einem sonnigen Sommertag erreichen ca.  $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  Gesamtstrahlung eine zur Sonne optimal ausgerichtete Fläche, an einem trüben Wintertag dagegen nur  $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ . (VDI 6002 Bl.1, S.7–8)

## Monatliches Strahlungsangebot in Trier



## Tägliches Strahlungsangebot in Trier



(METEONORM, 2009)

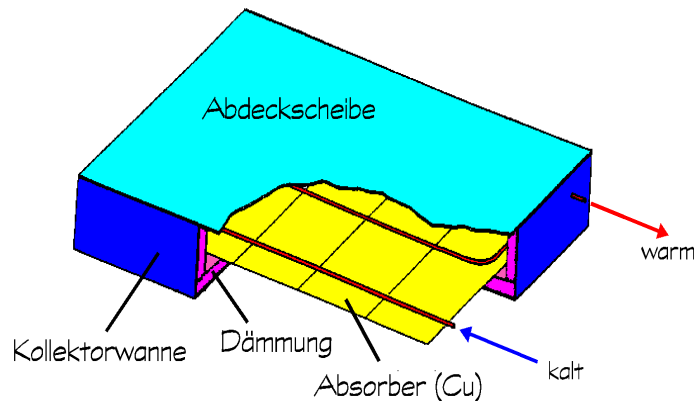
Es gilt nun, diese Strahlung einzufangen und zu nutzen. Dies geschieht bei thermischen Solaranlagen mit Hilfe eines Kollektors. Auf dem Markt werden im Wesentlichen drei Arten von Kollektoren angeboten.

## Kollektorbauarten

Am häufigsten werden für die Trinkwassererwärmung Flachkollektoren eingesetzt, aber auch Röhrenkollektoren oder freiliegende Absorber können benutzt werden.

### Flachkollektor

Diese Kollektorart mit einer der Sonnenstrahlung ausgesetzten planen Fläche besitzt frontseitig eine Abdeckung aus einem hochtransparenten, gehärteten Glas. In planparalleler Ebene darunter befindet sich der Absorber. Unterhalb des Absorbers liegt eine sehr temperaturbeständige Wärmedämmung, die Wärmeverluste stark vermindert. Seitliche Rahmen und eine Rückwand bilden zusammen mit der Frontabdeckung die äußeren Begrenzungen des Flachkollektors. Das gesamte Gehäuse muß UV-beständig und wetterfest sein.



### Vakuum-Röhrenkollektor

Hier befinden sich die Absorber in Glasröhren mit einem starken Unterdruck. Die Reduzierung der Wärmeverluste wird durch den Unterdruck erreicht, so dass keine weitere Wärmedämmung notwendig ist. Allerdings ist die dauerhafte Beständigkeit des Vakuums problematisch und sind Röhrenkollektoren wesentlich teurer als Flachkollektoren. Bei der Erwärmung von Trinkwasser kommen sie deshalb normalerweise nicht zum Einsatz.

### Freiliegender Absorber

Mit freiliegenden Absorbern (nicht in ein Gehäuse eingebettet und ohne frontseitige transparente Abdeckung) lassen sich bei niedrigen Nutztemperaturen (bis zu ca. 30 °C) große Wärmemengen pro Quadratmeter Fläche gewinnen. Sie sind daher sehr gut geeignet für die Erwärmung von Schwimmbadwasser und können auch zur Vorwärmung von Trinkwasser benutzt werden. Die bei der Erwärmung von Trinkwasser angestrebte Temperatur von 60°C erreichen diese Absorber nicht oder nur mit sehr hohen Verlusten. Bei der Erwärmung von Trinkwasser kommen sie deshalb selten zum Einsatz.

Die herstellerepezifischen Konstruktionsmerkmale der Kollektoren (bzw. Absorber) und deren technische Ausführung entscheiden nicht nur über die Leistungsfähigkeit, sondern auch über die Nutzungsdauer (Lebensdauer), die bei mindestens 20 Jahren liegen soll. (VDI 6002 Bl.1, S.10)

## Kollektoraufstellung

### Kollektor-Ausrichtung und Neigung

Bei knapp dimensionierten thermischen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung, d.h. bei Anlagen, die weit weniger als 50% des Verbrauchs abdecken, sind die Ausrichtung (Azimut) und die Neigung der strahlungsempfangenden Fläche von nur untergeordneter Bedeutung für den Gewinn an nutzbarer Solarwärme. Einen größeren Einfluß auf die solare Ausbeute haben vielmehr Verschattungen des Kollektorfeldes durch Hindernisse (z.B. von Bauten oder Bäumen) oder der Kollektoren untereinander. (s.a. VDI 6002 Bl.1, S.9)

### Aufbau der Kollektoren

Das Kollektorfeld kann auf Schrägdächern, Flachdächern, auf dem Boden, auf Pergolen und ähnlichem oder auch an einer Fassade errichtet werden. Bei allen Installationsarten muß beachtet werden, dass die Nutzungsdauer der Unterkonstruktion (Dach, Pergola etc.) mindestens so lang ist wie die Lebensdauer einer Solaranlage (20 bis 25 Jahre).



Folgende Anforderungen müssen von einer Unterkonstruktion erfüllt werden :

- ◆ statische Sicherheit gegenüber der Eigenlast und bei Wind- und Schneelast (siehe DIN 1055, DIN V ENV 1991-2-3 Eurocode 1 (Schnee); DIN V ENV 1991-2-4 (Wind))
- ◆ Korrosionsbeständigkeit
- ◆ Dichtigkeit gegen Nässe und Wind für den Fall, dass die Unterkonstruktion oder die Kollektoren selbst die Dachhaut bilden
- ◆ Unschädlichkeit für die Dichtheit des Daches

Beim Schrägdach gibt es zwei Installationsvarianten:

- ◆ Aufbau oberhalb der bestehenden Dachhaut  
Dieser Aufbau hat den Vorteil, dass die Dachhaut die alte Abdichtungsfunktion voll beibehält und dass einzelne Kollektoren im Falle eines Defektes problemlos ausgetauscht werden können. Die zusätzliche Dachlast durch die Kollektoren, die Verrohrung und die Tragekonstruktion ist statisch zu beachten. Architektonisch wirkt diese Installationsart, insbesondere bei großen Kollektorflächen, meist störend.
- ◆ Integration in die Dachhaut  
Bei der Dachintegration ersetzen die Kollektoren die Dachhaut. Das Kollektorfeld muß also dicht sein und an die umgebende Dachhaut dicht angebunden werden. Der Austausch einzelner Kollektoren ist erschwert. Durch den Wegfall der konventionellen Dachhaut (z.B. Ziegel) im Bereich des Kollektorfeldes tritt meist keine zusätzliche Dachbelastung durch die Kollektoren auf; zudem werden Kosten für die konventionelle Dacheindeckung eingespart. Diese Art der Integration wirkt architektonisch harmonisch.

Bei der Installation am Schrägdach ist man meist an die Dachneigung und -orientierung gebunden. Es ist jedoch im Bereich von Südost bis Südwest und bei Dachneigungen zwischen 20° und 60° nur mit Ertragseinbußen bis max. ca. 7 % von dem Wert bei optimaler Kollektorfeldausrichtung zu rechnen, sofern nicht Neigung und Orientierung gleichzeitig ungünstig sind.

Bei großen Kollektorfeldern kann das komplette Dach (evtl. sogar im Werk komplett vorgefertigt) aus Kollektorelementen aufgebaut werden („Solar Roof“).

### **Moderne Gebäudeintegration**

Gebäudeintegration heißt Doppelnutzen. Die Kollektoren werden nicht nur zur Energiegewinnung eingesetzt, sondern erfüllen auch eine weitere Funktion. Entweder sie ersetzen Teile der Gebäudehülle oder einer Überdachung und schützen gegen Wind und Regen oder sie dienen als Sonnenschutz. Da die Kollektoren dann das jeweilige Bauteil (Fassadenelement, Dachelement, Sonnenschutz) vollständig ersetzen, können diese „eingesparten“ Kosten der Solaranlage gutgeschrieben werden. Auch bei kleineren Flächen lassen sich noch Kosteneinsparungen erzielen. Gut geeignet sind Überdachungen jeder Art wie z. B. Portale oder Dächer von Wintergärten.

### **Integration der Kollektoren in die Fassade**

Wird eine Fassade erneuert oder wärmegeklämt, so bietet sich gerade in der Sanierung eine günstige Kombination beider Funktionen, Dämmung und Kollektoreinbau, an. Die Toleranz gegenüber der Südausrichtung ist allerdings gering.



*Grazer Studentenwohnheim mit Fassadenkollektoren*

Folgende Punkte sind bei der Fassadenintegration zu beachten:

- ◆ Wegen des vorhandenen Verschattungsrisikos im Sommer ist hier auf Fassadenvorsprünge besonders zu achten.
- ◆ Da Glasscheiben und Befestigungen einer höheren Belastung standhalten müssen, sind diese anders anzulegen.
- ◆ Schraubverbindungen in der Abdeckung müssen gegen Lösen gesichert sein.
- ◆ In Abhängigkeit des erwarteten solaren Deckungsanteiles ist der Fassadenkollektor vom spezifischen Flächenertrag im Nachteil, eine Vergrößerung seiner Fläche wird daher notwendig.
- ◆ Befestigung der Absorber im Kollektor.
- ◆ Wärmebrücken durch die Befestigung.
- ◆ Belüftung der Kollektoren (Dichtheit).
- ◆ Verschaltung der Kollektoren (Hydraulik).
- ◆ Anpassung des Gesamtsystems.

Vorteile:

- ◆ Wenn Flachdachflächen wegen anderer Dachaufbauten (Entlüfter, Aufzughaus, Kamin usw.) schwierig zu nutzen oder statisch ungeeignet sind, besteht hier trotzdem die Möglichkeit, eine Solaranlage zu errichten.
- ◆ Der Kollektor erfüllt gleichzeitig die Wärmedämmfunktion an der Gebäudewand.
- ◆ Der Kollektor ist gestaltendes Element = Einsparungen an sonstigen Fassadenkonstruktionen.
- ◆ Kollektor ist besser sichtbar = ökologische Orientierung als sichtbares Zeichen.
- ◆ Mehrertrag im Winter für Systeme mit Heizungsunterstützung.
- ◆ Großflächige Kollektoren verwendbar = kurze Montagezeiten auf der Baustelle.
- ◆ Keine Überhitzungsprobleme der Anlage = keine Stillstandszeiten im Sommer.
- ◆ Die Verschmutzungstendenz ist geringer.

Nachteile:

- ◆ Es ist eine größere Kollektorfläche als bei schräger Kollektoraufstellung notwendig.
- ◆ Die Zugänglichkeit bei etwaigen Reparaturen wird erschwert. (Austria Solar Innovation Center 9.11.05, S.94–95)

### **Aufstellung auf Flachdächern**

Bei der Installation auf einem Flachdach ist man in der Regel relativ frei in der Ausrichtungs- und Neigungswahl. Je nach Flachdachaufbau (flächig belastbar, punktuell belastbar, nur belastbar in Fassadenbereichen) sind entsprechend massiv ausgeführte Aufständerkonstruktionen notwendig, die nicht nur die Last der Kollektoren, sondern auch erhebliche Windlasten ohne Schwingungsanfälligkeit aufnehmen müssen [8].

Die Aufstellung auf Flachdächern hat den Vorteil, dass die gewünschte Neigung und Ausrichtung realisiert werden kann. Allerdings ist die Montage durch die notwendigen Gestelle relativ teuer. Diesem Mehraufwand kann man begegnen, indem Aufständerkonstruktion und Vorfertigung der Kollektorteilfelder am Boden erfolgt.

Bei der Flachdachaufständerkonstruktion ist darauf zu achten, dass hintereinander aufgebaute Kollektoren sich auch im Winter (mittags) nicht gegenseitig verschatten. Wenn die Dachfläche nicht ausreichend groß ist, kann man im Winter evtl. geringe Verschattung zulassen und die Kollektorreihen enger anordnen. Zu den Dachrändern soll ein Abstand von ca. 1 Meter eingehalten werden, damit das Kollektorfeld umgangen werden kann und im Falle von Glasbruch das Herabfallen von Bruchstücken zumindest erschwert wird. Zudem werden die Kollektoren dann nicht den starken Windkräften im Bereich der Dachkanten ausgesetzt. (vgl. auch VDI 6002 Bl.1, S.20–21)

## Verbindung zwischen Kollektor und Speicher

Um eine hohe Systemeffizienz zu erreichen, ist die Vermeidung bzw. die Reduktion von Wärmeverlusten absolut erforderlich.

- ◆ Reduktion der Rohrnetzlängen in der Planung auf das Nötigste.
- ◆ Ausführung der Wärmedämmstandards entsprechend der ENEC bzw. ÖNORM M7580. Als Faustformel gilt: Rohrdurchmesser = Dämmstärke.
- ◆ Erhöhter Wärmedämmstandard bei Rohrleitungen im Freien.
- ◆ Verwendung von temperaturbeständigen Dämmstoffen, im Außenbereich müssen diese zusätzlich feuchtebeständig sein und vor UV-Strahlung und Tieren geschützt werden (z.B. Kautschukdämmung mit Glanzblechummantelung). Glanzblechmantel nicht in Kontakt mit der heißen Rohrleitung bringen (Wärmeableitung!).
- ◆ Bei Bauteildurchbrüchen (Wand, Decke) muß die volle Rohrdämmung durchgezogen werden.
- ◆ Armaturendämmung sollte Standard in modernen Wärmeversorgungsanlagen sein. (Fink, u.a. 25.10.06, S.4)
- ◆ Trotz des erhöhten Dämmaufwands ist es bei der nachträglichen Montage einer Solaranlage meist einfacher und kostengünstiger, die Kollektorleitungen an der Außenwand nach unten und zur Speicheraufstellung zu führen. Man vermeidet aufwendige Wand- und Deckendurchbrüche (insbesondere bei Brandabschnitten!) und kann die Leitungen direkter führen.



## Speicheraufstellung

Um eine hohe Systemeffizienz zu erreichen, ist die Minimierung der Wärmeverluste von Energiespeichern absolut erforderlich:

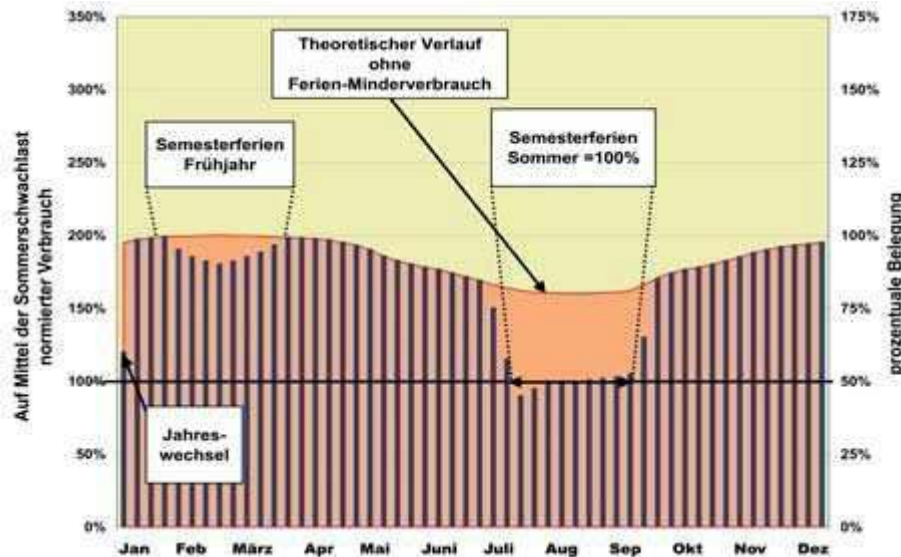
- ◆ Einspeichersysteme sind Mehrspeichersystemen unbedingt vorzuziehen. Einspeichersysteme reduzieren Kosten (geringerer Verrohrungsaufwand) und Wärmeverluste entscheidend.
- ◆ Verhältniszahl zwischen Speicherhöhe und Durchmesser (H/D) sollte zwischen 2 und 4 liegen (Temperaturschichtung vs. Wärmeverluste).
- ◆ Die Dämmstärke muß bei größeren Solaranlagen mindestens 200 mm ( $\lambda$  Dämmung = 0,04 W/mK) aufweisen.
- ◆ Rollendämmstoffe müssen mehrlagig, stoßversetzt und voll anliegend verarbeitet werden.
- ◆ Trockenbauverschlüsse, in denen die Speicher aufgestellt werden und die mit Schüttdämmungen gefüllt werden, haben sich hinsichtlich energetischer Effizienz und geringer Kosten bewährt.
- ◆ Speicheranschlüsse sollten lückenlos gedämmt und mit Thermosiphon ausgeführt werden. (Fink, u.a. 25.10.06, S.4)

Es wird empfohlen, das Speichervolumen möglichst in einem einzigen Behälter unterzubringen. Damit lassen sich Investitionskosten und Wärmeverluste minimieren. Kleine Einbringöffnungen können für die Installation eines einzigen großen Speichers ein Problem darstellen. In solchen Fällen ist zu prüfen, ob der Einbau eines im Aufstellort zusammengeschweißten Großbehälters oder auch ein außerhalb des Gebäudes aufgestellter Speicher (mit besserer Wärmedämmung und Frostschutz) nicht die günstigere Variante darstellt. Es kann auch zweckmäßig sein, eine größere Einbringöffnung zu schaffen. (VDI 6002 B1.1, S.24)

# Spezielle Anforderungen Studentenwohnheime

## Belegung und Verbrauchsprofil

"Studentenwohnheime 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 erwärmtem Trinkwasser zum Teil doppelt so hoch wie in den Semesterferien von Juli bis September. Auch in den Frühjahrsferien sowie zum Jahreswechsel nimmt der Verbrauch ab." (Informationsdienst 2.06.08, S.1)



Die ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH entwickelte ein Diagramm (s. Abb.), das ein Jahresprofil des prinzipiellen Verhältnisses des Warmwasserverbrauchs für Studentenwohnheime zeigt. Dazu wird der mittlere Warmwasserverbrauch in der Schwachlastzeit der Sommersemesterferien auf 100% gesetzt (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. Der orange Bereich 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. (Informationsdienst 2.06.08, S.3)

## Notwendige Messungen

Leider war es aufgrund der Jahreszeit (Winter) und des Zeitdrucks bei der Erstellung nicht möglich, Messeinrichtungen einzubauen und während der Sommerzeit in der Minderverbrauchszeit zu analysieren. Wenn nicht gemessen werden kann, obliegt es dem Planer, die Standortattraktivität dadurch zu berücksichtigen, dass er den Bedarfsrückgang in den Semesterferien gegenüber Bild 1 verstärkt oder abschwächt. (VDI 6002 Bl.2, S.9) Je nachdem, wie schnell die Anlagen nun realisiert werden sollen, ist es empfehlenswert vor der detaillierten Planung diese Messungen im kommenden Sommer nachzuholen.

## Besonderheiten des Standorts

Für den Bedarf an Trinkwarmwasser in Studentenwohnheimen ist die stark wechselnde Anzahl der in den Wohnheimen anwesenden Studenten während der Semestermonate und der vorlesungsfreien Zeiten charakteristisch. Dabei gibt es Unterschiede zwischen den Hochschulen/Universitäten und den Fachhochschulen (unterschiedliche Semesterferien, unterschiedliche Häufigkeit von Klausuren in der

vorlesungsfreien Zeit etc.). Wie viele Studenten während der vorlesungsfreien Zeit das Wohnheim verlassen, hängt von folgenden Faktoren ab:

- ◆ Prüfungsumfang während der Semesterferien
- ◆ Attraktivität des Hochschulortes
- ◆ Anteil ausländischer, außereuropäischer Studenten im Wohnheim, die auch in den Ferien am Studienort verbleiben (VDI 6002 Bl.2, S.8–9)

### Erwartete Verbrauchswerte an erwärmtem Trinkwasser

Täglicher Trinkwasserbedarf in Studentenwohnheimen je Tag und Vollbelegungsperson (d.h. Wohnheimplatz) zu verschiedenen Zeiten:

Tages-Trinkwarmwasserbedarf in Liter/(vp*d) bei 60 °C	Bereich Meßwerte	Auslegung ohne Messung
Auslegung auf sommerliche Schwachlastperiode	12 bis 30	20
im Jahresmittel	34 bis 45	(37 bei 20l/(vp*d) im Sommer)
in der Winter-Spitzenperiode	45 bis 55	(46 bei 20l/(vp*d) im Sommer)

(VDI 6002 Bl.2, S.10)

In den folgenden Simulationsberechnungen wurden die Anlagen deshalb auf den Sommerbetrieb mit einem maximalen Verbrauch von 20 Liter pro Wohnheimplatz und Tag ausgelegt.

### Verbesserung der Versorgungssicherheit

Ein konventionelles Energieversorgungssystem muß eine weitgehende Versorgungssicherheit gewährleisten. Diese Anforderung wird an ein Solarsystem zur Trinkwassererwärmung nicht gestellt, da es in unseren Breiten immer auf ein konventionelles Nachheizsystem angewiesen ist. Trotzdem kann ein vorhandenes Solarsystem die Versorgungssicherheit gerade bei knapp ausgelegten Heizungsanlagen erhöhen:

Das Solarsystem übernimmt, auch bei wenig Sonnenschein, zumindest einen Teil der Brauchwassererwärmung, indem es 10°C kaltes Trinkwasser zumindest vorwärmt, im Sommerhalbjahr sogar die gesamte Warmwasserversorgung übernehmen kann. Die Heizanlage wird also auf jeden Fall entlastet. Die Solaranlage vermeidet zudem ein erhöhtes Takten des Kessels im Sommer-Schwachlastbetrieb. Neben einer Reduktion der erhöhten Emissionen in diesem Taktbetrieb verlängert sich dadurch die Lebensdauer des Kessels, da jeder (Kalt-)Start schlechte Verbrennung und erhöhten Verschleiß verursacht.

Durch die größeren Speicher, die bei einer Solaranlage immer zum Einsatz kommen, besteht die Möglichkeit, einen kleinen Teil dieses (Puffer-) Speichers auch dem konventionellen Heizsystem zur Verfügung zu stellen. Damit werden Spitzenlasten gemildert und unnötiges Takten der Heizkessel (mit erhöhtem Verbrauch und Schadstoffausstoß) vermieden.

Beide Veränderungen nehmen der Last die Spitze und erhöhen die Sicherheit des Systems.

### Warmwasser-Zirkulation

Bei großen Gebäuden mit zentraler Warmwasserbereitung (meist im Keller) liegt zwischen Zapfstelle und Speicher ein langer Rohrweg. Dies würde bedeuten, daß bei einer Zapfung zuerst das Warmwasser den gesamten Weg zurücklegen und das entsprechende Rohr erwärmen muß. Dies entspricht nicht den heutigen Anforderungen an den Komfort einer Warmwasserversorgung. Bei langen Warmwasserleitungen oder bei größeren Anlagen ist eine Warmwasserzirkulationsleitung erforderlich, damit die Warmwasserleitung immer warm gehalten wird und beim Zapfen sofort warmes Wasser zur Verfügung steht. Auch lt. DVGW-Arbeitsblatt Nr. 551 (s.o.) ist zum Schutz vor Legionellenbildung in der Rohrleitung bei Leitungsinhalten von mehr als 3 Litern eine Warmwasserzirkulation vorgeschrieben.

In der aktuellen ENEC 2007 finden Zirkulationssysteme in „§ 14 Verteilungseinrichtungen und Warmwasseranlagen“ besondere Berücksichtigung:

"(4) Zirkulationspumpen müssen beim Einbau in Warmwasseranlagen mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung ausgestattet werden." (ENEV vom 2007, §§ § 14)

Ein weiterer Untersuchungspunkt ist deshalb die Frage der Zirkulationsunterbrechung. Die EnEV macht keine Angaben zur empfohlenen Dauer für eine Unterbrechung. In diesem Zusammenhang spielt das Nutzerverhalten wiederum eine entscheidende Rolle. Kann sichergestellt werden, dass zu bestimmten Zeiten keine Zapfungen vorgenommen werden – z. B. tagsüber, wenn alle Bewohner berufstätig und außer Haus sind – kann der Zirkulationsbetrieb gezielt unterbrochen werden. Generell dürfte dies im Einfamilienhausbereich einfacher sein als beim Geschosswohnungsbau.

Finden während der Zirkulationsunterbrechung trotzdem Zapfungen statt, kommt es zu erhöhten Zapfbeginnverlusten, welche die Einsparungen bei den Verlusten des Zirkulationskreislaufes verringern oder sogar übersteigen können. Um eine Energiebilanz von Zirkulationsunterbrechungen zu erhalten, müssen von den Aufheizverlusten, die sich zum Zeitpunkt der Wiederaufnahme des Zirkulationsbetriebes ergeben, die eingesparten Verluste des Zirkulationskreislaufes abgezogen werden. Dabei stellt sich heraus, dass bei allen untersuchten Gebäudetypen (vom Einfamilienhaus bis zum Mehrfamilienhaus) bereits nach 1/2 bis 1 Stunde Abschalten der Zirkulation Einspareffekte auftreten. Wird z. B. beim Einfamilienhaus eine 6-stündige Unterbrechung der Zirkulation vorgenommen, ergibt sich unter Abzug der Heizgewinne beim Grundmodell eine Ersparnis in der Größenordnung von 5 % des Gesamtenergiebedarfs für die Warmwasserverteilung. (Brillinger et al. Februar 2004, S.95)

Für die Studentenwohnheime wird deshalb eine Unterbrechung des Betriebs der Zirkulationspumpe zwischen Mitternacht und 6 Uhr vorgeschlagen.

### **Gewinne in der Heizperiode**

Ein Teil der Wärmeverluste der Steigleitungen des Zirkulationskreislaufs führt während der Heizperiode zu Heizgewinnen. Dieser Effekt wird in den Simulationsrechnungen bei heizungsunterstützenden Solaranlagen berücksichtigt, in unseren Fällen jedoch nicht.

Bei Zirkulationsleitungen zwischen verschiedenen Häusern eines Wohnheims sind diese Verluste jedoch unwiederbringlich verloren. Ein eingeschränkter Betrieb ist deshalb besonders sinnvoll.

### **Trinkwasserhygiene (Legionellen)**

Legionellen sind eine Bakteriengattung, die in geringer Zahl in allen Oberflächengewässern und im Grundwasser vorkommt. Sie überstehen die Wasseraufbereitung und gelangen über das Kaltwasser in unser Trinkwassersystem. In geringen Konzentrationen geht von ihnen keine Gefahr aus, bei Temperaturen zwischen etwa 25 und 55 °C kommt es allerdings zu einer Vermehrung. Ihre optimale Wachstumsrate erreichen die Legionellen bei ca. 35 °C. In Trinkwassersystemen vermehren sich die Bakterien daher in "lauwarmem", stagnerendem Wasser besonders gut.

Eine Infektion ist fast nur durch Inhalation keimbelasteter Aerosole (Gemisch aus Luft und Wassertröpfchen) möglich, wie sie vor allem beim Duschen auftreten. Es sind zwei verschiedene Krankheitsverläufe bekannt: das meist harmlos verlaufende Pontiac-Fieber und die eine Lungenentzündung hervorrufende Legionärskrankheit, die bei unbehandelten Fällen auch zum Tode führen kann.

Eine Abtötung der Legionellen ist erst bei Temperaturen ab 55 °C möglich, bei über 70 °C erfolgt die Desinfektion in sehr kurzer Zeit. Es ist aber zu beachten, dass eine spezielle Dauerform der Legionellen, nämlich solche, die sich in Wirts-Amöben "verkapselt" haben, auch bei hoher Temperatur überleben und sich nach Abkühlung weiter vermehren. Eine thermische Desinfektion ist daher nur temporär wirksam. Alternativ können Legionellen auch chemisch, z. B. durch Chlorung, oder Mithilfe von UV-Strahlung bekämpft werden. Allerdings wird auch durch diese beiden Verfahren keine vollständige und nachhaltige Abtötung der Bakterien erreicht, eine Zugabe von Chemikalien hat zudem Auswirkungen auf die Wasserqualität. (Behling 2007)

Bei allen Trinkwasseranlagen sind deshalb die Forderungen zur Trinkwasserhygiene nach VDI 6023 zu beachten. Die DVGW-Arbeitsblätter W 551/W 552 und W 553 beschreiben allgemein, welche

Forderungen hinsichtlich der Legionellenproblematik bei der Trinkwassererwärmung einzuhalten sind. Solaranlagen erfordern in aller Regel größere Speichervolumina als konventionelle Systeme. Zudem treten in Solarspeichern häufig Temperaturen im Bereich von 30 bis 50 °C auf, in dem sich Keime besonders stark vermehren können. Durch geeignete Maßnahmen (z.B. auch angepasste System- und Speicherkonfiguration) können jedoch bei Solaranlagen Vorkehrungen gegen ein vermehrtes Keimwachstum im Trinkwasser getroffen werden. (VDI 6002 B1.1, S.13)

Nach den technischen Vorschriften der DVGW müssen

- ◆ am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers bei bestimmungsgemäßigem Betrieb Temperaturen von > 60 °C eingehalten werden.
- ◆ Trinkwasserspeicher größer 400 l und Warmwasserleitungen mit mehr als 3 Litern Inhalt einmal täglich auf mindestens 60°C aufgeheizt werden
- ◆ die Temperaturen des Zirkulationsrücklaufs 55°C nicht unterschreiten.
- ◆ die Unterbrechungen des Zirkulationsbetriebs kürzer als 8 Stunden dauern.  
(Technische Regel DVGW: Arbeitsblatt W 551)

# Untersuchung der Studentenwohnheime des swt Trier

## Kontaktaufnahme und Erstbegehung

Im September 2008 nahm das Studierendenwerk Kontakt mit dem Solarverein Trier e.V. auf, um die Einsatzmöglichkeiten solarthermischer Anlagen zu erörtern. Eine Erstbegehung der Objekte am 15. September zeigte, dass keine grundsätzlichen Hindernisse entgegenstehen.

Um diese Machbarkeit genauer zu klären, wurde deshalb in Zusammenarbeit mit Professor Menke von der Fachhochschule Trier, Fachrichtung Gebäudetechnik, Versorgungstechnik und Energietechnik ein Förderantrag an das Umweltministerium des Landes Rheinland-Pfalz gestellt. Der Antrag auf Förderung einer Machbarkeitsstudie wurde Ende November bewilligt. Allerdings waren mit dem Ministerium noch Abrechnungsmodalitäten in der Zusammenarbeit zwischen FH Trier und Solarverein zu klären, so dass erst Ende Januar 2009 mit den Arbeiten begonnen werden konnte.

## Bestandsaufnahme

Im Zentrum der Arbeiten standen genaue Bestandsaufnahmen der fünf Objekte. Vom Studierendenwerk wurden dazu vorab Baupläne und monatliche Verbrauchszahlen zur Verfügung gestellt. Die fünf Objekte wurden zusammen mit den Hausmeistern in einer jeweils etwa dreistündigen Begehung erfaßt und der Bestand sowie mögliche Optionen diskutiert.

Aufgrund der „Faschingsfeiertage“ und von Terminproblemen erfolgten die Begehungen erst ab Mitte Februar und dauerten bis Anfang März. Die Begehungen wurden durchgeführt von Matthias Gebauer und Harald Kissel vom Solarverein Trier e.V. und fanden statt am:

- ◆ 19.2.2009 9-12 Uhr Wohnheim Tarforst
- ◆ 20.2.2009 9-12 Uhr Wohnheim Kleeburger Weg
- ◆ 2.3.2009 9-12 Uhr Wohnheim Martinskloster
- ◆ 10.3.2009 9-12 Uhr Wohnheim Petrisberg
- ◆ 10.3.2009 13-16 Uhr Wohnheim Olewig

## Einbindung von Studenten

Ursprünglich war geplant, die Studenten der Wohnheime, insbesondere Studenten der Versorgungstechnik und Architektur in die Untersuchung mit einzubeziehen.

Dazu wurden 3 Wochen vor den Begehungen in jedem Wohnheim 2 große Ankündigungsplakate ausgehängt und über das Rechenzentrum der FH alle Studenten der Versorgungstechnik und Architektur per EMail über die Untersuchung informiert.

Leider fielen die Begehungen in die vorlesungsfreie Zeit, und auch Fasching dürfte die Motivation zu morgendlichen Aktionen gedämpft haben: es meldete sich in keinem Wohnheim ein/e Student/in, um an der Untersuchung teilzunehmen.

In Zukunft müssen solche Aktionen längerfristig geplant und besser mit dem Lehrangebot an der FH abgestimmt werden (Anerkennung als Studienleistung o.ä.).

Für das SS 2009 ist geplant, die Auslegung der Solaranlagen während des Masterkurses Regenerative Energiesysteme II als Studienprojekt durch die Studenten im Rahmen der Anwendung des T-Sol Simulationsprogramms im Detail optimieren zu lassen.



**Studieren mit der Sonne**

**Solare Bestandsaufnahme im Wohnheim Martinskloster am 2.3.2009 von 9 bis 12 Uhr**

Das Studierendenwerk Trier plant, seine fünf Wohnheime mit großen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung auszustatten.  
Mit Unterstützung des Landes Rheinland-Pfalz wird der Solarverein Trier in Zusammenarbeit mit dem Solar-Kompetenz-Zentrum der FH Trier eine Machbarkeitsuntersuchung für alle Wohnheime durch Ethen.  
In den Wohnheimen wird dazu eine umfassende Bestandsaufnahme erfolgen und die Solarmöglichkeit geprüft.  
Die Untersuchung soll dabei Studenten die Gelegenheit bieten, konkrete Einblicke in die Solarpraxis zu erhalten und an dem Planungsprozess in ihrem Wohnheim teilzunehmen.  
Interessierte Studenten werden gebeten, sich bis spätestens einen Tag vor der Vor-Ort-Untersuchung beim Solarverein ([solarverein@fh-trier.de](mailto:solarverein@fh-trier.de)) anzumelden.

Rheinland-Pfalz  
FACHHOCHSCHULE TRIER  
Solarverein Trier



## **Recherchen und Datenauswertung**

Das Bundesumweltministerium förderte im Programm „Solarthermie2000“ die Installation von fünf großen Solaranlagen auf Studentenwohnheimen in Chemnitz, Freiburg (Breisgau), Leipzig, Magdeburg und Zwickau. Die TU Chemnitz und die Hochschule Offenburg begleiteten die Vorhaben wissenschaftlich. Auf die Inbetriebnahme folgte ein dreijähriges Intensivmessprogramm mit anschließender Langzeitvermessung. Bis heute zeigt sich, daß die Anlagen gut und weitgehend störungsfrei funktionieren.

Damit stehen umfangreiche Daten, Auswertungen und Erfahrungen zum Einsatz von Solaranlagen in studentischen Wohnheimen zur Verfügung, die u.a. Eingang in die VDI-Norm 6002 Teil 2 gefunden haben. Aus Österreich, dem Pionier und Vorreiter thermischer Solarnutzung in Europa, stehen Daten und Erfahrungswerte zur Verfügung, die zu dieser Studie herangezogen und ausgewertet wurden.

## **Ursprüngliche Zielsetzung und neue Fördermöglichkeiten**

Ursprünglich war geplant, in einem ersten Schritt auf zwei Wohnheimen Solaranlagen zu installieren. Diese Studie sollte deshalb alle Wohnheime grob untersuchen und die beiden geeignetsten auswählen. Für diese zwei sollte dann eine genauere Konzeption und Machbarkeitsuntersuchung erfolgen.

Mitte März 2009 wurde klar, daß die Möglichkeit besteht, daß in diesem Jahr alle Anlagen auf den fünf Wohnheimen im Rahmen des „Konjunkturpakets II“ zu voraussichtlich 60% gefördert werden können. Das Ziel der Untersuchung wurde deshalb dahin gehend erweitert, daß die Machbarkeit für alle Wohnheime eingehend untersucht wurde. Um Förderung zu erlangen, mußten die Ergebnisse jedoch bis Ende März vorliegen! Deshalb wurde diese Studie in aller Eile in einer Rohfassung fertiggestellt und dem Studierendenwerk zur Verfügung gestellt. Zur Endfassung wurden bis Mitte April noch einige Aspekte ergänzt und die Grunddaten der Simulations- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Anhang zusammengestellt.

# Objektbeschreibungen

## Allgemein

Im Folgenden werden die allgemeinen, für jedes Objekt erfaßten Parameter sowie ihre Bedeutung für die weitere Planung beschrieben.

## Verbrauchsdaten

Für fast alle Objekte liegen monatliche Energie- und Wasserverbrauchszahlen für mindestens 3 bis 4 Jahre vor. Leider geben diese Zahlen nur bedingt Aufschluß über den tatsächlichen Warmwasserverbrauch und den damit verbundenen Energiebedarf.

Beim Wasserzähler werden Wasserverbräuche zur Toilettenspülung, Gebäudereinigung und evtl. Bewässerung nicht vom Warmwasserverbrauch unterschieden. Die Wasserverbrauchszahlen erlauben deshalb allenfalls Aufschluß über die monatliche Belegung des Wohnheims im Jahresverlauf.

Beim Energieverbrauch wird nicht zwischen Heizenergie und Energie zur Warmwasserbereitung unterschieden. Somit kann lediglich eine Analyse der Sommermonate, an denen normalerweise keine Heizwärme benötigt wird, bedingt Anhaltspunkt für den Warmwasserbedarf inklusive Zirkulationsverluste liefern.

## Zapfstellen

In allen Objekten sind die Wohnheimplätze mit separaten Einzelnasszellen ausgestattet. Nur sehr wenige Plätze sind als „WG-Wohnungen“ ausgelegt mit gemeinsamer Waschküche und Küche. Somit kann für jeden Wohnheimplatz mit einer Dusche und einer Kleinküche als Warmwasserverbraucher gerechnet werden.

Dies gibt zwar keinen Aufschluß über den Energieverbrauch, da dieser zudem stark von den persönlichen Gewohnheiten sowie der Belegung bzw. Anwesenheit der Nutzer abhängt, die Anzahl der Zapfstellen ist jedoch von entscheidender Bedeutung für die Spitzenlast des Systems. Natürlich werden nicht alle Duschen gleichzeitig zu versorgen sein, aber ihre Anzahl, multipliziert mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor, bestimmt diese Spitze. Erfahrungsgemäß ist der Gleichzeitigkeitsfaktor in Studentenwohnheimen jedoch nicht sehr groß, die Benutzungszeiten schwanken individuell sehr stark.

Für die Auslegung der Solaranlage ist die Spitzenlast von untergeordneter Bedeutung. Bei einer Sanierung der (konventionellen) Warmwassererzeugung sollte ihr besondere Aufmerksamkeit (etwa durch genaue Messungen) geschenkt werden. Wie die Erfahrung aus zahlreichen Anlagen zeigt führt insbesondere die DIN 4708 zu einem zu hohen Gleichzeitigkeitsfaktor und damit zu unnötig großen Bereitschaftsspeichern und Wärmetauschern. Eine Berechnung des Gleichzeitigkeitsfaktors nach Sander ergibt bei der Größe der Wohnheime mit ca. 0,2 einen praxisnäheren Faktor. (Recknagel et al. 2001, S.1726), (Storch, Alexander et al. 2004)

## Belegung

Entscheidend für die bedarfsgerechte Auslegung der Solaranlage sind dagegen die Belegungszahlen der Wohnheime. Generell sind zwar alle Wohnungen vermietet, aber gerade in der vorlesungsfreien Zeit sowie an Wochenenden nicht komplett belegt. Die benutzten Verbrauchsprofile der VDI 6002 Teil 2 berücksichtigen diese Unterschiede im Wochen- und Jahresprofil, basieren jedoch auf Durchschnittswerten. Die Besonderheiten des Studienorts und der einzelnen Wohnheime müssen berücksichtigt werden:

"So fällt etwa in Leipzig das typische Verbrauchstal in den Ferien geringer aus, da hier der Anteil ausländischer Studierender relativ hoch. Diese Gruppe verbringt die Ferien meist am Studienort. Der spezifische Solarsystemertrag ist entsprechend hoch." (Informationsdienst 2.06.08, S.3)

Die genaue Belegung der Wohnheime kann jedoch nicht erfaßt werden – die Studenten melden sich selbstverständlich nicht ab. Zur Belegungsdichte in den Semesterferien wurden deshalb die Hausmeister um eine vorsichtige Einschätzung gebeten. Diese Erfahrungswerte wurden in den weiteren Berechnungen mit einem Sicherheitsaufschlag (nach unten) weiterverwendet.

## Waschmaschinen

Prinzipiell besteht die Möglichkeit auch Waschmaschinen an die zentrale Warmwasserbereitung anzuschließen. Für Industrielwaschmaschinen stellt dies normalerweise kein Problem dar, da sie üblicherweise über einen Kalt- und Warmwasseranschluß verfügen. In der Großwäscherei der Caritas-Werkstätten Trier ist seit März 2009 eine große Solaranlage mit 80m<sup>2</sup> Kollektorfläche alleine zu diesem Zweck im Einsatz.



Waschmaschinen im Studentenwohnheim Kleeburger Weg

Handelsübliche Haushaltswaschmaschinen besitzen in der Regel keinen gesonderten Warmwasseranschluß. Hier ist ein separates Vorschaltgerät nötig, welches die gewünschten Temperaturen (30°, 60° oder 90°) vormischt. In Gemeinschaftsanlagen ist ein Einsatz dieser empfindlichen und teuren Geräte jedoch kaum praktikabel.

Der in den Wohnheimen des Studierendenwerks zum Einsatz kommende Hersteller (Miele) hat jedoch ein Modell ("All-water") im Angebot, das direkt an das Warmwassernetz angeschlossen werden kann. Es wird deshalb vorgeschlagen, im Zuge der allgemeinen Erneuerung der Geräte in Zukunft auf diesen Typ umzustellen. Der zusätzliche Warmwasserverbrauch erhöht nicht nur den Ertrag der Solaranlage, mit diesem Einsatz wird zudem die teure elektrische Energie durch kostenlose Solarenergie ersetzt, was die Wirtschaftlichkeit sehr stark erhöht. Selbst bei der Erwärmung des Waschwassers durch die konventionelle Heizung werden über 60% der Energiekosten gespart. (Schwenk 1999, S.12)

## Warmwasserbereitung Status Quo

Die Analyse der bestehenden Warmwasserbereitung ist für die Integration der Solaranlage entscheidend:

- ◆ Wie kann das bestehende, gut funktionierende System möglichst weitergenutzt werden?
- ◆ Wie ist ein Umbau mit minimalem Aufwand möglich?
- ◆ Wie ist der Zustand des bestehenden Systems? Ist mit einer baldigen Erneuerung zu rechnen? Wie kann dann das Solarsystem optimal integriert und mitgenutzt werden?

Im Folgenden werden die Besonderheiten der einzelnen Objekte näher beschrieben. Die Luftbildaufnahmen wurden dabei jeweils aus südlicher Richtung gemacht (Blick nach Norden) und erlauben eine erste Orientierung

## Kleeburger Weg

Vom Studierendenwerk langfristig gepachtetes Objekt, Baujahr 1991 und 92, in drei Gruppen gegliedert. Versorgung aller Gebäude durch Heizzentrale in Gebäude B (östlicher Winkelbau).

260 Wohnheimplätze, Belegung in den Semesterferien zu etwa 70%. Monatliche Verbrauchszahlen zeigen sehr hohe Belegung und sehr hohe Zirkulationsverluste.

Flachdach auf Gebäude B gut zur Kollektormontage mit Kran geeignet, Verrohrung an der Außenseite zum Speicheraufstellort.



Bestehende Warmwasserbereitung in 950l Warmwasser-Speichern (Bj.91) und zwei Gaskesseln mit je 290 kW.

Kein Platz für zusätzlichen Speicher im Heizkeller, aber im nahe gelegenen, ehemaligen „Gemeinschaftsraum“, der nur noch als Abstellraum genutzt wird.

## Martinsklöster

Wohnheim des Studentenwerks im historischen Martinsklöster und einem östlich davon gelegenen Neubau, Baujahr 1971. Versorgung beider Gebäude durch eine Heizzentrale im Keller des Neubaus.

220 Wohnheimplätze, Belegung in den Semesterferien zu etwa 70%, Annahme gestützt durch entsprechende hohe monatliche Verbrauchszahlen im Juli und August und Aussage des Hausmeisters.

Kollektormontage auf dem großen mittleren und südlichen Flachdach des östlichen Teil des Neubaus, Kollektorverrohrung an der Außenseite zum direkt darunter liegenden Heizungskeller im UG.

Neue Warmwasserbereitung (2004) im Heizungskeller mit Beladestation und 1000l Warmwasserspeicher. Nachheizung mit 612 kW Gasbrennwertkessel.

Ausreichend Raum für neuen Pufferspeicher im Heizungskeller vorhanden und mit guter Zuwegung.

Ein Teil des Wohnheims Martinsklöster stellt durch den Denkmalschutz auf dem historischen Altbau besondere Anforderungen. Da dieser Teil des Wohnheims über eine eigene Warmwasserbereitung verfügt, stellt die Solaranlage auf diesem alten Gebäudeteil eine eigenständige Anlage dar. Im Denkmalschutz ist eventuell eine Förderung im „Solarthermie2000plus-Programm“ der Bundesregierung möglich, die zusätzliche Untersuchungen, Kontakte und Verhandlungen nötig macht. Dieser Teil des Martinsklöstlers ist deshalb Gegenstand einer separaten, zukünftigen Untersuchung. Die weiteren Berechnungen beziehen sich auf den Neubau mit 145 Plätzen.



## Olewig

Vom Studierendenwerk langfristig gepachtetes Objekt, Baujahr 1992, in zwei Gebäudegruppen (Haus 1&2 westlich, Haus 3&4 östlich), Versorgung beider Gruppen durch Heizzentrale im UG Haus 3.

Außenfassade soll neuen Anstrich bekommen.

166 Wohnheimplätze, Belegung in den Semesterferien zu etwa 50%. Keine monatlichen Verbrauchszahlen vorliegend.

Gut geeignetes Süddach auf Haus 3 und 4 mit Ziegeleindeckung, Spitzboden zum Kollektoranschluß nutzbar, günstige Verrohrung an Giebelseite von Haus 3 zum Heizungskeller im UG.

Bestehende Warmwasserbereitung in drei Warmwasser-Speichern (Bj.92) mit insgesamt 5000l, davon einer bereits defekt und außer Betrieb, die beiden anderen stark erneuerungsbedürftig. Ölheizung mit 250kW, Heizsystem bei Auslegungstemperatur (-12°C) überlastet.

Ausreichend Raum für neuen Speicher im Heizungskeller vorhanden. Zugang mit max. 0,82m Breite beengt, deshalb Platzschweißung nötig.



## Petrisberg

In den Jahren 2000 und 2001 neu errichtetes Wohnheim mit drei Gebäudereihen, Versorgung aller Gebäude durch Heizzentrale im mittleren Teil der östlichen Reihe.

410 Wohnheimplätze, Belegung in den Semesterferien zu etwa 70%, Annahme gestützt durch entsprechende hohe monatliche Verbrauchszahlen im Juli und August und Aussage des Hausmeisters.

Zuletzt gebaute Reihe (auf dem Luftbild noch im Bau) mit einer PV-Anlage auf dem Tonnendach ausgerüstet. Die noch freien Dächer sind statisch und durch ihre Ausrichtung für die Montage von Kollektoren nicht geeignet.



Südfassade nahezu ohne Fenster und Wetterseite, d.h. stark dem Regen ausgesetzt (s. Bild links). Dies schädigt langfristig die Fassade und erhöht den Wärmebedarf des Gebäudes, da das Wasser nach dem Regen wieder „ausgedampft“ werden muß.

Wandkonstruktion ohne Wärmedämmverbundsystem und für Kollektor-Fassadenmontage gut geeignet. Verrohrung bei der östlichen Reihe dann an der Gebäudeaußenseite zum mittleren Teil gut möglich. Bei einer Kollektormontage an der westlichen Reihe ist eine Einbindung der Solaranlage ins Wärmeverteilnetz sinnvoll.

Zentrale Warmwasserbereitung im Heizungskeller mit liegendem 1500l Warmwasserspeicher. Nachheizung mit 640 kW Gasbrennwertkessel. Kein Raum für neuen Pufferspeicher im Heizungskeller vorhanden. Im daneben liegenden Werkstatttraum kann ein ausreichend großer Speicher in einer Ecke aufgestellt werden.

## Tarforst

In den Jahren 1980 bis 2001 schrittweise aufgebautes Wohnheim, bestehend aus 6 separaten Gebäudekomplexen. Versorgung aller Gebäude durch Nahwärmenetz der nahegelegenen Universität.

420 Wohnheimplätze; hoher Anteil ausländischer Studierender, insbesondere chinesischer Studenten; deshalb Belegung auch in den Semesterferien relativ hoch.

Dächer der älteren Gebäude für Kollektormontage ungeeignet, auf einem be-

findet sich bereits eine nachinstallierte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, auch die anderen werden in Zukunft nachgerüstet. Dächer der neuen Gebäude als Tonnendächer ausgeführt und aus statischen Gründen für eine Kollektormontage nicht geeignet.

Fassadenmontage an mehreren Flächen mit der Ausrichtung Südost bis Südwest möglich, allerdings sind die Fassaden in den älteren Gebäuden mit asbesthaltigen Platten verkleidet. Eine Montage erscheint hier nur bei einer generellen Fassadensanierung sinnvoll und wirtschaftlich.

Drei Warmwasserbereitungen in den Häusern I, IV und VII mit stehendem 1000l Speicher in Haus I, mit liegendem 1000l Warmwasserspeicher in Haus IV, mit stehendem 800l Speicher in Haus VII. Keine weiteren Speicheraufstellmöglichkeiten in den Häusern.

Aufgrund der damit schwierigen Integration der Solarenergie wird empfohlen, eine Integration erst bei einer großen Sanierung der Fassaden durchzuführen. Gleichzeitig mit dieser Sanierung können dann die notwendigen Pufferspeicher im Außenbereich aufgestellt werden und in die neuen Fassaden integriert werden.

Dieses Wohnheim ist deshalb als einziges für eine direkte und sofortige Umsetzung ungeeignet und wird in den folgenden Berechnungen nicht weiter betrachtet.



# Grobkonzeption

## Grundlegende Systemvarianten

Wegen der stark schwankenden Sonneneinstrahlung im Tages- und Jahresverlauf müssen alle Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung mit einem Speicher versehen werden. Solarsysteme werden nach der Art der Energiespeicherung unterschieden.

- ◆ Anlagen mit solarem Trinkwasserspeicher  
Die gewonnene Solarenergie wird direkt im Trinkwasser gespeichert.
- ◆ Anlagen mit solarem Pufferspeicher  
Die gewonnene Solarenergie wird zunächst in einem Pufferspeicher, der nicht mit Trinkwasser gefüllt ist, gespeichert und dann über einen Wärmeübertrager (Wärmetauscher; WT) an das Trinkwasser abgegeben.

## Solarer Trinkwasserspeicher

Solare Trinkwasserspeicher werden wegen der Vorschriften zur Vermeidung des Legionellenwachstums heute meist nur noch bei Systemen mit einem Speichervolumen von maximal 400 l benutzt. Bei größeren bivalenten Trinkwasserspeichern (mehr als 400 l Gesamtvolumen) muß gemäß DVGW-Arbeitsblätter (vgl. oben) der gesamte bivalente Speicher (also auch das solare Vorwärmvolumen) einmal täglich auf mindestens 60°C aufgeheizt werden, wenn keine anderen Vorkehrungen zur Vermeidung der Gesundheitsgefährdung durch Legionellen ergriffen werden. Da dieses tägliche Aufheizen des solaren Vorwärmteils die Aufnahme von Solarenergie erheblich einschränken würde, werden bei großen Solarsystemen mit Speichern über 400 l Inhalt Pufferspeicher eingesetzt, die nicht mit Trinkwasser gefüllt sind.

Zudem ist Trinkwasser korrosiv, es wird immer neuer Sauerstoff in den Speicher eingebracht. Trinkwasser-Speicher aus Stahl benötigen deshalb einen Korrosionsschutz (Emaillierung), dessen Lebensdauer begrenzt ist und der mindestens jährlich kontrolliert werden muß. Oder sie sind aus hochwertigem Edelstahl (V4A) gefertigt, was stark erhöhte Investitionskosten verursacht. Ein einfacher Stahlspeicher (ST37) für Heizungswasser ohne korrosive Eigenschaften (Pufferspeicher) ist generell eine wesentlich kostengünstigere Lösung.

## Solarer Pufferspeicher

Im Folgenden sind als Beispiele für die vielen möglichen Systemschaltungen vier häufig realisierte Anlagenschaltungen skizziert, die sich in der Praxis bei großen Anlagen bewährt haben.

Die folgenden Schemen sind stark vereinfacht und entstanden in Anlehnung an die VDI 2006, Ergebnisse des Programms „Solarthermie 2000“ und berücksichtigen in der dritten und vierten Variante insbesondere neuere Erfahrungen aus Österreich. Zur Übersichtlichkeit nicht dargestellt sind:

- ◆ Ladung der Pufferspeicher durch die Solaranlage,
- ◆ Sicherheitseinrichtungen wie Sicherheitsventile oder Ausdehnungsgefäße,
- ◆ Mischventile zur Temperaturbegrenzung (Verkalkungs- und Verbrühungsschutz),
- ◆ Vorkehrungen zur Aufrechterhaltung der Pufferspeicher-Schichtung sowie
- ◆ Installationen in Variante B zum Legionellenschutz (erfolgt am besten mittels der Zirkulationsleitung wie im folgenden Kapitel beschrieben).

Heizungswasser mit Pufferspeicher und Heizkessel sind dabei rot dargestellt, Trinkwasser blau.

Die Wärmeabgabe des Heizkessels an den Trinkwasserspeicher kann mit einem externen Wärmetauscher (wie dargestellt) oder mit einem internen Wärmetauscher im Trinkwasserspeicher erfolgen, wie in den Wohnheimen meist üblich. Prinzipiell sind beide Varianten gleichwertig, bei der Speicherladung mit einem externen Wärmetauscher sind jedoch zwei Pumpen (rote Dreiecke in der Zeichnung) nötig.

### Variante A: Solare Vorwärmung

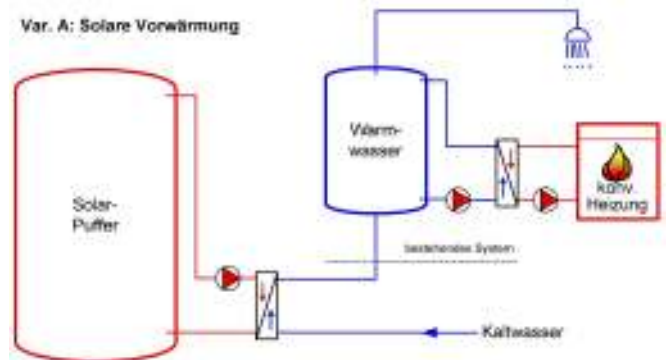
Bei einer Anlage mit Vorwärm-Wärmetauscher wird die Solarwärme aus dem Pufferspeicher über den Wärmetauscher (Trinkwasser-WT) direkt an das gezapfte Wasser übertragen.

Vorteile:

- ◆ niedriges Temperaturniveau im unteren Teil des Solarpufferspeichers
- ◆ einfacher und kostengünstiger Systemaufbau
- ◆ leichte Nachrüstbarkeit bei bestehenden konventionellen Anlagen

Nachteile:

- ◆ zeitliche Begrenzung der Abgabe der Solarenergie (Abgabe nur, wenn Warmwasser gezapft wird)
- ◆ aufwendige Regelung für eine optimale Entladung des Pufferspeichers bei gleichzeitig bestmöglicher Erwärmung des Kaltwassers
- ◆ kritische Auslegung des großen Wärmetauschers (WT) bei großen Gebäuden wegen weitem Dynamikbereich des Durchflusses



### Variante B: Solarer Vorwärmespeicher

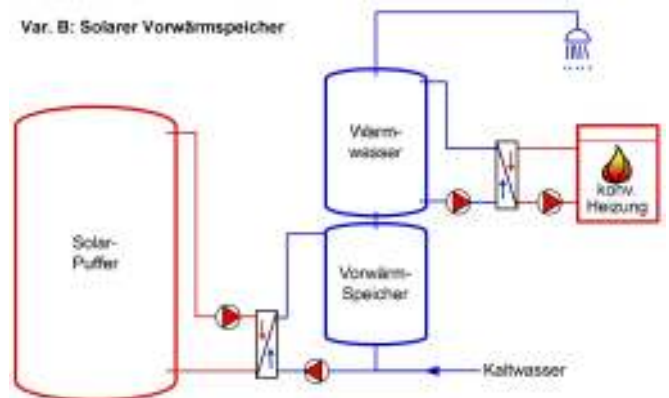
Bei dieser Anbindung des solaren Pufferspeichers an das Trinkwassernetz wird die im Speicher gesammelte Solarwärme über den Entlade-Wärmetauscher und einen dem konventionellen Nachheizspeicher vorgeschalteten kleinen solaren Trinkwasser-Vorwärmespeicher (ca. 10 % des Tages-Warmwasserbedarfs; bei kleinen Gebäuden höherer Wert) an das Trinkwasser abgegeben.

Vorteile:

- ◆ größere Unabhängigkeit der Pufferentladung vom zeitlichen Verlauf des Warmwasserverbrauchs
- ◆ sehr einfache Regelung
- ◆ unproblematische Auslegung des relativ kleinen Entlade-Wärmetauschers
- ◆ einfache Integration in ein bestehendes konventionelles System

Nachteile:

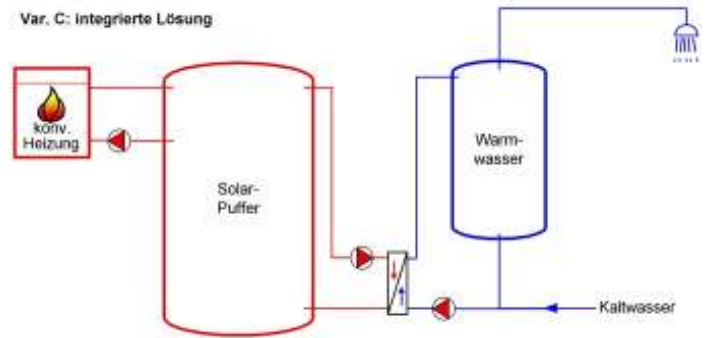
- ◆ geringe Mehrkosten durch den zusätzlichen Vorwärmespeicher (trotz kleinerem WT)
- ◆ geringe Temperaturerhöhung im unteren Teil des Pufferspeichers
- ◆ Notwendigkeit einer Vorsorge gegen Legionellenwachstum im Vorwärmespeicher (im Schema nicht dargestellt)





### Variante C: Integrierte Lösung

Bei dieser Einbindung laden sowohl Solaranlage als auch Heizkessel den Pufferspeicher, der konventionelle Kessel jedoch nur einen kleinen, oberen Bereich. Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt durch einen Entlade-Wärmetauscher in einen (Bereitschafts-) Warmwasserspeicher.



Vorteile:

- ◆ größere Unabhängigkeit der Pufferentladung vom zeitlichen Verlauf des Warmwasserverbrauchs
- ◆ sehr einfache Regelung
- ◆ geringe Investitionskosten, da nur ein Wärmetauscher notwendig
- ◆ unproblematische Auslegung des relativ kleinen Entlade-Wärmetauschers
- ◆ einfache Erweiterung zur solaren Heizungsunterstützung durch Versorgung der Heizkreise aus dem Pufferspeicher

Nachteile:

- ◆ geringe Temperaturerhöhung im unteren Teil des Pufferspeichers
- ◆ Umbau der gesamten Warmwasserbereitung bei bestehenden Anlagen

### Variante D: Dezentrale Warmwasserbereitung

Diese Weiterentwicklung von Variante C ist in Österreich in großen Anlagen in Mehrfamilienhäusern mittlerweile Standard. Durch eine dezentrale Warmwasserbereitung nahe bei den Zapfstellen (Stockwerkweise oder für jede Steigleitung) kann auf Zirkulationsleitungen und Vorkehrungen zur Legionellenproblematik verzichtet werden. Betrieben werden diese dezentralen Stationen über das Heizleitungsnetz, somit reduziert sich das Verteilnetz auf das zur Heizung sowieso nötige 2-Leiter-Netz. Dieses ist im Winter sowieso im Betrieb, die Verluste durch Warmwasser- und Zirkulationsleitung entfallen, ebenso wie die zusätzlichen Installationskosten. Auch im Sommerbetrieb wird dieses Heizungsnetz betrieben, dient dann aber nur zur Warmwasserbereitung und enthält kein Trinkwasser mit hygienischen und korrosiven Anforderungen.



dezentrale Übergabestation für Heizung und Warmwasserbereitung in einem kleinen Wärmetauscher (links oben) in einem Mehrfamilienhaus in Trier

Vorteile

- ◆ geringere Verluste und Investitionskosten durch 2-Leiter-Netz (keine Warmwasserverteilung und Zirkulationsleitung)
- ◆ hygienisch einwandfreie Warmwasserbereitung nahe bei den Verbrauchsstellen ohne Speicher

Nachteile

- ◆ nur im Neubau oder bei Generalsanierungen einsetzbar

Bei allen anderen Systemen ist eine Zirkulationsleitung notwendig, die integriert werden muß:

### Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem

In den vorigen Varianten A bis C wurde die Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem nicht dargestellt, obwohl dies bei großzügigerer Dimensionierung der Anlage prinzipiell erwogen werden

kann. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte bei der Zirkulationseinbindung kurz genannt.

Der Volumenstrom im Zirkulationsnetz muß im Rahmen der erlaubten Möglichkeiten minimiert werden. Dies setzt voraus:

- ◆ Ausnutzen der empfohlenen Untergrenze der Zirkulationsrücklauf­temperatur (bei großen Anlagen 55 °C gemäß DVGW W551/W 552)
- ◆ sehr gute Wärmedämmung der Warmwasser- und der Zirkulationsleitungen
- ◆ hydraulisch sehr gut abgeglichenes Zirkulationsnetz, bei dem alle Stränge gleich durchströmt werden

Zusätzlich darf das hohe Temperaturniveau des Zirkulationsrücklaufs weder direkt noch indirekt (über WT) in den unteren Teil eines Solarspeichers (Solarpuffer- oder solarer Vorwärm­speicher) gelangen.

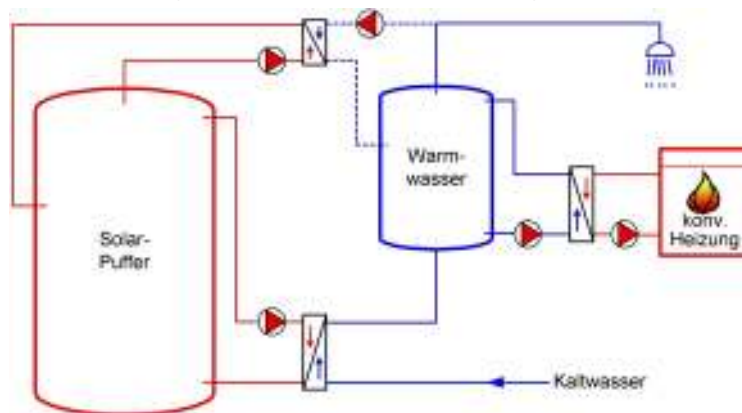
Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, so führt die Einbindung der Zirkulation in das Solarsystem zu einem erheblichen Absinken der Effizienz der Solaranlage gegenüber einem System ohne Zirkulationseinbindung. (VDI 6002 Bl.1, S.15–16)

Werden diese Bedingungen jedoch erfüllt, so erhöht sich der Ertrag der Solaranlage signifikant im Vergleich zu einer Anlage ohne Zirkulationseinbindung. Ein Stillstand der Anlage bei überschüssiger Solarenergie im Sommer kann fast immer vermieden werden.

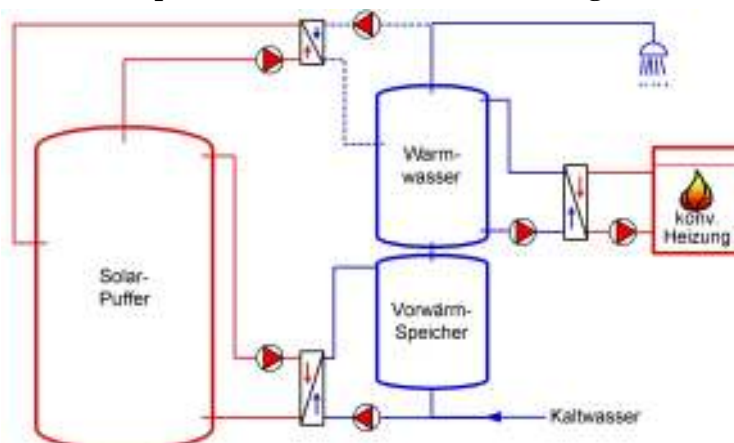
Angesichts der langen Zirkulationsleitungen in den Wohnheimen und der damit verbundenen hohen Verluste wird eine Einbindung der Zirkulation ins Solarsystem dringend empfohlen.

Die folgenden Schemata zeigen die oben beschriebenen Varianten A bis C mit einer Einbindung der Zirkulation durch einen separaten, kleinen Wärmetauscher. Die Zirkulationsleitung ist gestrichelt dargestellt.

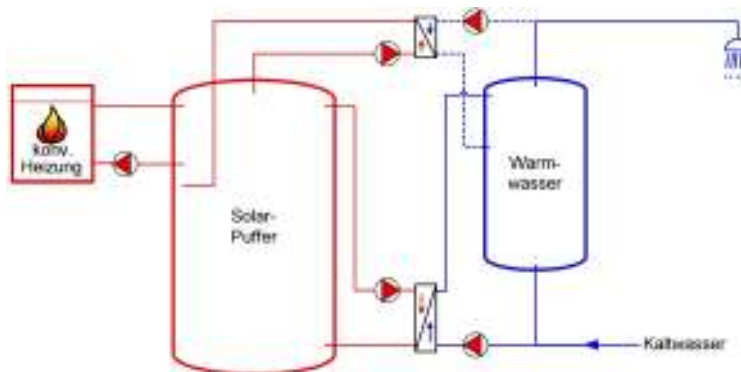
#### Variante A: Solare Vorwärmung mit Zirkulationseinbindung



#### Variante B: Solarer Vorwärm­speicher mit Zirkulationseinbindung



## Variante C: Integrierte Lösung mit Zirkulationseinbindung



### Einbindung der Heizkreise

Insbesondere in den Heizzeiten mit schwacher Belegung, also z.B. über Weihnachten, in den Wintersemesterferien oder über Ostern, kann die Solaranlage nicht nur zur Warmwasserbereitung dienen, sondern bei Sonnenschein auch effektiv die Heizung unterstützen.

Dies ist bei Variante C einfach möglich und bei Variante D bereits integriert. Diese Varianten stellen deshalb langfristig, bei weiter steigenden Heizkosten, die besten Lösungen dar. Bei einer späteren Heizungssanierung können aber auch Variante A oder B entsprechend umgebaut werden. Sinnvoll ist dabei, bereits jetzt Pufferspeicher einzusetzen, die genügend Anschlüsse für eine zukünftige Umrüstung vorhalten.

### Empfehlung

Bei einer bestehenden zentralen Warmwasserbereitung, d.h. einem Warmwassernetz mit Zirkulation, ist Variante C mit Zirkulationseinbindung die beste Lösung. Sie kombiniert optimalen Solarertrag und optimalen Kesselbetrieb. Zudem unterstützt die Solaranlage die Raumheizung. Dies bedeutet einen maximalen Solarertrag, maximale Brennstoffeinsparung und minimale Schadstoffemissionen.

Bei einer Erneuerung der Heizanlage sollte das System deshalb entsprechend umgebaut werden, bei einer Solarinstallation ohne Erneuerung der Heizanlage ist Variante A am einfachsten umzusetzen. Es sollten aber entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, damit das System später ohne großen zusätzlichen Aufwand angepaßt werden kann.

Bei einer Totalsanierung des Gebäudes ist eine dezentrale Warmwasserbereitung, d.h. ohne Warmwassernetz und Zirkulationsleitung, vorzusehen (Variante D).

## Kosten- und Ertragsoptimierung

Die Kosten der bisherigen Anlagen auf Studentenwohnheimen im deutschen Solarthermie 2000 Programm werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

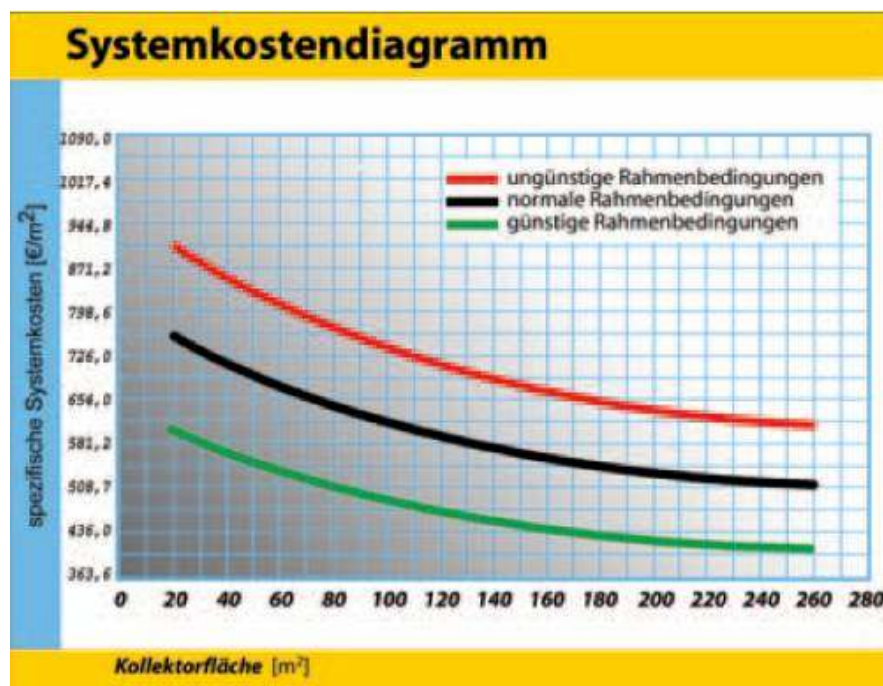
Studentenwohnheim	Aktive Kollektorfläche [m <sup>2</sup> ]	Investitionskosten (inkl. Planung MwSt.) [€]	Geplante solare Nutzwärmekosten* [€/kWh]	Erreichte solare Nutzwärmekosten* (ohne Förderung) [€/kWh]
Chemnitz	100,0	117.000	0,13	0,24
Leipzig	398,4	280.500	0,12	0,10
Freiburg	143,0	114.521	0,12	0,11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

\* Annahme: 20 Jahre Systemlebensdauer, Zinssatz: 6% (Informationsdienst 2.06.08, S.4)

Die Systemkosten lagen bei diesen Anlagen damit zwischen 550 und 1170 €/m<sup>2</sup> bei einem Mittelwert von knapp 800 €/m<sup>2</sup>. Die teuerste Energie erzeugten Röhrenkollektoren.

Leider sind solch hohen Werte typisch für die „gründliche“ deutsche Planung und Umsetzung im öffentlichen Bau. In Österreich ist man in dieser Hinsicht weiter, wie die folgende Darstellung verdeutlicht.

### Systemkosten in Österreich



Die Frage nach den zu erwartenden Kosten für den Bau einer thermischen Solaranlage in Mehrfamilienhäusern steht meist im Mittelpunkt des gesamten Projektablaufs. Im Vergleich zu marktüblichen Kleinanlagen betragen die Investitionskosten (bezogen auf die Kollektorfläche) für diese Großanlagen weniger als die Hälfte, der Solarenergieertrag ist dagegen um 30–50 % höher, sodass sich eine um den Faktor 3 bessere Wirtschaftlichkeit gegenüber derzeitigen Kleinanlagen ergibt. Die flächenbezogenen Investitionskosten der in Österreich untersuchten Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung variieren zwischen 500 und 2.000 €/m<sup>2</sup> – in Einzelfällen sogar darüber.

Kleinere Solaranlagen (< 10 m<sup>2</sup>) mit Vakuumröhren-Kollektoren liegen im oberen Kostenbereich, während größere Systeme (> 100 m<sup>2</sup>) mit Flachkollektoren unter 500 €/m<sup>2</sup> realisiert werden können.

In obiger Abbildung sind die durchschnittlich zu erwartenden Investitionskosten für solare Warmwasserbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Kollektorfeldgröße abzulesen. Die mittlere (schwarze) Linie dient in der Vorplanungsphase zur Orientierung für den Bauherrn, um eine ungefähre Vorstellung von den zu erwartenden Kosten zu bekommen. Diese Kosten - es werden die Kosten für Solaranlagen mit Flachkollektoren betrachtet - setzen sich zusammen aus:

- ◆ Planung
- ◆ Materialkosten
- ◆ Montagekosten (Arbeitszeit, Krankkosten usw.)
- ◆ ggf. Umsatzsteuer, falls der Investor nicht vorsteuerabzugsberechtigt ist.

Sind genauere Details über die Montageart des Kollektorfeldes, die Speicheraufstellung sowie die Verrohrung bekannt, kann man abschätzen, ob die Kosten eher in Richtung der roten Linie steigen oder in Richtung der grünen Linie fallen werden. (Austria Solar Innovation Center 9.11.05, S.59)

Selbst bei ungünstigsten Rahmenbedingungen sollten Anlagen über 100m<sup>2</sup> also nicht mehr als 700€/m<sup>2</sup> kosten, bei günstigen Rahmenbedingungen sind Kosten unter 500 €/m<sup>2</sup> gut erreichbar.

Auch in Deutschland sind solche Kostengrößen erreichbar, allerdings bisher nur im privaten Wohnungsbau, wie folgende Tabelle verdeutlicht.

<i>Abgerechnete Kosten aus dem Marktanreizprogramm</i>	
<i>Kollektorfläche [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Abgerechnete spezifische Kosten [€]</i>
10 – 20	650 – 700
20 – 30	530 – 580
30 – 50	450 – 530
Über 50	350 – 480

Kostendegression mit zunehmender Anlagengröße  
(FIZ Karlsruhe 2008, S.10)

Wie können also die Kosten minimiert werden, welches sind die anzustrebenden Rahmenbedingungen?

### **Kostenminimierung und günstige Rahmenbedingungen**

Günstige Rahmenbedingungen für Solaranlagen sind:

- ◆ einfache Dachintegration, Gebäudeintegration
- ◆ geringer Montageaufwand durch geringe Bauhöhen, kurze Anbindung an die Nachheizung sowie geringer Aufwand bei Speicheraufstellung
- ◆ das benötigte Speichervolumen in eine möglichst geringe Anzahl von Speichern aufteilen

Ungünstigere Rahmenbedingungen:

- ◆ Aufwand für Unterbau und Aufständungen beim Kollektorfeld
- ◆ lange Verrohrungswege
- ◆ Mehraufwand an Aufstellungs- und Anschlussarbeiten durch Aufteilung des Solarspeichervolumens in mehrere Speicher
- ◆ Errichtung im Zuge einer Sanierung (um ca. 10 % höhere Kosten als im Neubau)

Aber es bestehen noch weitere Möglichkeiten zur Kostenminderung:

- ◆ Der richtige Zeitpunkt zum Bau der Solaranlage macht die Investition erst richtig wirtschaftlich: insbesondere wenn Renovierungen oder Sanierungen anstehen, können „Sowieso-Investitionen“ die Anlage günstig machen.
- ◆ Frühzeitige Einbeziehung der Solarplanung in die Gesamtplanung des Neubaus oder die Sanierungsmaßnahme. Nur durch frühzeitige Abstimmung lassen sich günstige Montagesituationen und kurze Leitungswege sicherstellen.
- ◆ Ausdrückliche Einbeziehung aller Solarmaßnahmen in den Bauzeitenplan, um eine optimale Abstimmung der Gewerke zu erreichen und Doppelarbeiten sicher zu vermeiden. Dies ist besonders wichtig bei allen Maßnahmen zur Gebäudeintegration. Vielfach wird der Kostenvorteil, den z. B. Vormontage bieten kann, durch unnötige Wartezeiten auf der Baustelle wieder zunichte gemacht.
- ◆ Vormontagemöglichkeiten nutzen. Dies gilt insbesondere bei aufgeständerten Kollektoren. Vormontierte Einheiten benötigen einen Kran, der an der Baustelle meist ohnehin vorhanden ist. Oft genug wird aber die Nutzung des Krans nicht abgesprochen und der Kran wird dann einige Stunden vor Anlieferung der Kollektorelemente abgezogen oder abgebaut.
- ◆ Möglichkeiten zur großflächigen Kollektormontage nutzen, vorzugsweise als Gebäudeintegration. Die entsprechenden Gutschriften eingerechnet lassen sich Kostenminderungen von 50,87–109,01 €/m<sup>2</sup> erreichen, bei großflächiger Fassaden- oder Dachintegration vielfach über 109,01 €/m<sup>2</sup>.  
(Austria Solar Innovation Center 9.11.05, S.59–60)

### **Qualifizierte funktionale Ausschreibung und Verantwortung des Planers**

Bei einer „qualifizierten funktionalen Ausschreibung“ wird die funktionale Anlagenbeschreibung durch präzise Angaben mit prüffähigen technischen Kennwerten ergänzt. Die Ausschreibung enthält dann eindeutige und genaue Angaben zu:

- ◆ Warmwasserbedarf des Objekts und der gewünschten solaren Deckung
- ◆ gewünschten Montagevarianten des Kollektorfeldes
- ◆ Systemverschaltungen
- ◆ gewünschter Belegung des Technikraums und der Rohrleitungsführung
- ◆ Einbindung der Anlage in die konventionelle Technik (Daten Heizkessel, vorhandene Warmwasserspeicher bzw. Warmwasserverteiler)
- ◆ bestimmten Mindestwerten für einzelne Komponenten (Kollektoren, Wärmetauscher, Wärmedämmung, Speicher, etc.)

Zum einen wird mit diesen Angaben dem Anbieter besser deutlich, auf welche Dinge es dem Fachplaner/dem Bauherrn ankommt und ob sein Produkt/seine Dienstleistung hier vorteilhaft im Wettbewerb steht. Wenn er dies bejaht, wird er stärker motiviert sein anzubieten. Zum anderen übernimmt der Fachplaner die Verantwortung für die Vorgaben, die er macht. Innerhalb dieser Vorgaben sinkt der Planungsaufwand für den Anbieter und er kann sich im Idealfall in einzelnen Angebotsgruppen nahezu wie in einer detaillierten Ausschreibung bewegen. Entsprechend sinkt der Kostenaufwand, den er einrechnen muß.

Dennoch ist die geteilte Planungsverantwortung (Vorgaben von Seiten des Fachplaners als Teile der Ausführungsplanung, restliche Ausführungsplanung durch den Anbieter) nicht unproblematisch. Insbesondere muß der Fachplaner qualifizierte Angaben zu Schnittstellen und zur Zusammenarbeit mit anderen Gewerken machen. Diese Abstimmungen sollte er keinesfalls dem Anbieter aufbürden – teure Mißverständnisse sind dann vorprogrammiert!

Bei der „qualifizierten funktionalen Ausschreibung“ ist die Verantwortung für die Funktion der Anlage zwar juristisch im Einzelnen eindeutig geregelt, aber für juristische Laien vielfach nicht transparent. Dies ist trotz der unbestreitbaren Vorteile dieser Ausschreibungsform gegenüber der rein funktionalen und der detaillierten Ausschreibung zu bedenken und sollte den Planer veranlassen, die Entwurfsplanung besonders sorgfältig durchzuarbeiten und das Baumanagement mit den beteiligten Gewerken gut abzustimmen. In der „qualifizierten funktionalen Ausschreibung“ werden die Anforderungen und Garantieleistungen, denen die verschiedenen Systemkomponenten zu genügen haben, mit angeführt. (Austria Solar Innovation Center 9.11.05, S.55)

Durch eine qualifizierte Planung kann eine Ausschreibung zudem in mehrere Einzelpositionen aufgeteilt werden:

Oft ist der Kollektor des einen Herstellers in seinen Formaten für den geplanten Aufstellort besonders geeignet oder besonders preiswert. Durch die Fördervoraussetzung des Solar Keymark sind heute alle förderfähigen Kollektoren von sehr guter Qualität und prinzipiell gut einsetzbar. Stiftung Warentest hat in den letzten Jahren kaum noch qualitative Unterschiede zwischen den getesteten Kollektoren festgestellt.

Und der Speicher eines anderen Herstellers ist in seinen Maßen ideal für den Heizungskeller oder wird sogar kostengünstig nach Maß gefertigt. Bei einer sorgfältigen Detailplanung der Anlage ist es kein Problem, Produkte verschiedener Hersteller zu kombinieren und eventuell sogar die Montage separat auszuschreiben (Material wird beigelegt).

Diese Vorgehensweise weist ein großes Einsparpotenzial auf, verlangt jedoch einen erfahrenen Planer, der ein gutes Gesamtkonzept entwirft, die einzelnen Produkte fachmännisch bewertet und die Schnittstellen klar definiert. Der Planer ist hier wirklich gefordert, und kann nicht allein vorgefertigte Ausschreibungsauslagen eines Herstellers kopieren. Problematisch bleibt der ungenügende Anreiz nach HOAI, die Anlage kostengünstig umzusetzen.

### **Einsparpotenziale bei der Ausführungsplanung**

Ebenso erschließt eine optimale Ausführungsplanung verschiedenen Einsparmöglichkeiten:

- ◆ Kostenreduktionen bei der Speicherwahl ausnutzen.  
Die Mehrkosten für eine Aufteilung des Solarspeichers in Einzelspeicher sind immer zu vergleichen mit Mehrkosten, die eine Umgestaltung des Einbringwegs (Vergrößerung der Türöffnung), ein anderer Aufstellraum oder eine geringe Absenkung des Kellerbodens erfordern würden.
- ◆ Kostenreduktionen durch kurze, gerade Verrohrungswege innerhalb der Anlageninstallation ausnutzen.
- ◆ Aufwand bei Schaltschränken für Stromanschlüsse und Regelgeräte reduzieren. Fast immer kommen die Pumpen mit einfachen 230-V-Anschlüssen aus. Die Regelgeräte werden in einem wandmontierbaren Gehäuse der erforderlichen Schutzklasse geliefert.
- ◆ Isolation von Rohrleitungen mit vorkonfektionierten Dämmschalen anstatt mit montageaufwendigen Systemen.
- ◆ Beschriftung und Kennzeichnung ist wichtig, jedoch sind preiswerte Systeme ausreichend (Austria Solar Innovation Center 9.11.05, S.59)

### **Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung**

Einfacher Systemaufbau, optimale Integration in das konventionelle System und angepaßte Dimensionierung sind wichtige Voraussetzungen für die Effizienz und die Betriebssicherheit des Solarsystems. Nur Solarsysteme mit einer langen Nutzungsdauer bei gleich bleibend hohem Energieertrag sowie mit geringen Betriebs- und Instandhaltungskosten können wirtschaftlich positive Ergebnisse erreichen. (VDI 6002 Bl.1, S.13)

Der Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung kommt damit für die nachhaltige Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage besondere Bedeutung zu.

### **Dokumentierte Inbetriebnahme und technische Abnahme**

Die Inbetriebnahme sowie die Abnahme bilden den Abschluß der Umsetzungsphase. Die Basis aller weiteren Optimierungen und Änderungen bzw. auch der Wartungsarbeiten bildet die Erstinbetriebnahme, weshalb sämtliche Anlagenparameter und Einstellungen unbedingt gut dokumentiert werden müssen. Die dokumentierte Inbetriebnahme wird vom Installateur durchgeführt und betrifft:

- ◆ Die Aufzeichnung des eingestellten Vordrucks am Ausdehnungsgefäß, des Fülldrucks sowie der geschätzten durchschnittlichen Systemtemperatur bei Druckeinstellung im Solarsystem sowie in der Heizungsanlage

- ◆ Die Aufzeichnung sämtlicher Einstellwerte von Strangregulierventilen, Differenzdruckreglern und kvs-Einsätzen
- ◆ Die Aufzeichnung der Regelungsparameter für sämtliche Ausgänge (beispielsweise Minimal- und Maximaltemperaturen, Temperaturdifferenzen, Hysteresen, Drehzahlregelungskriterien wie z.B. Solltemperaturen oder Solldifferenzdrücke, etc.)
- ◆ Das Prüfprotokoll zur regelungstechnischen Funktion sämtlicher Ausgänge
- ◆ Das Messprotokoll zur Glykolkonzentration und zum pH-Wert im Solarprimärkreis
- ◆ Die Druckprüfungsprotokolle sämtlicher hydraulischer Kreise

Die technische Abnahme wird vom Haustechnikplaner im Beisein von Installateur, Regelungstechniker, etc. sowie von einem Bauträgervertreter durchgeführt. Der Hintergrund der technischen Abnahme liegt in der Prüfung, inwieweit die Vorgaben aus der Planung auch in der Installation berücksichtigt worden sind. Abweichungen müssen in den Ausführungsplänen dokumentiert sein. Im Rahmen der technischen Abnahme erfolgt die Übergabe sämtlicher anlagenspezifischer Daten, wie beispielsweise das vollständige Inbetriebnahmeprotokoll, alle Ausführungspläne sowie Produkt- und Anlagenbeschreibungen. Die Prüfung der Übereinstimmung erfolgt für alle zentral wichtigen Funktionen, für den Rest stichprobenartig. (Fink, u.a. 25.10.06, S.4)

### **Betriebsoptimierung und -überwachung**

Auch nach Inbetriebnahme und technischer Abnahme sind einige Abläufe besonders wichtig für die Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems. Nachfolgende Aktivitäten und Abläufe sollten vom Bauträger auf jeden Fall veranlaßt werden.

In der sogenannten „Optimierungsphase“ werden in den ersten Betriebswochen sämtliche über die Anlagenregelung aufgezeichnete Systemtemperaturen analysiert und darauf aufbauend Optimierungsschritte eingeleitet. Erfahrungsgemäß betreffen Schwachstellen nicht nur das Solarsystem, sondern gleichermaßen auch den konventionellen Wärmeerzeuger, die Gesamtregelung oder das Wärmeverteilsystem. All diese Punkte wirken sich negativ auf die erzielbaren Jahressystemnutzungsgrade aus, bleiben aber in der Regel über Jahre hindurch unbemerkt und werden durch wesentlich höheren Primärenergieeinsatz kompensiert. Die Praxis zeigt, dass Großteils durch wenig aufwendige Systemanalysen in den ersten beiden Betriebsmonaten Schwachpunkte erkannt und während der Gewährleistungsfristen ohne Zusatzkosten für den Auftraggeber behoben werden können.

Für diese Optimierungsarbeiten wird keine zusätzliche Messausstattung benötigt, sondern die an die Regelung gekoppelten Sensoren reichen ohnedies aus. Wichtig ist, dass die Regelung über eine interne Datenspeichermöglichkeit und möglichst eine Möglichkeit zum Fernzugriff per Internet verfügt.

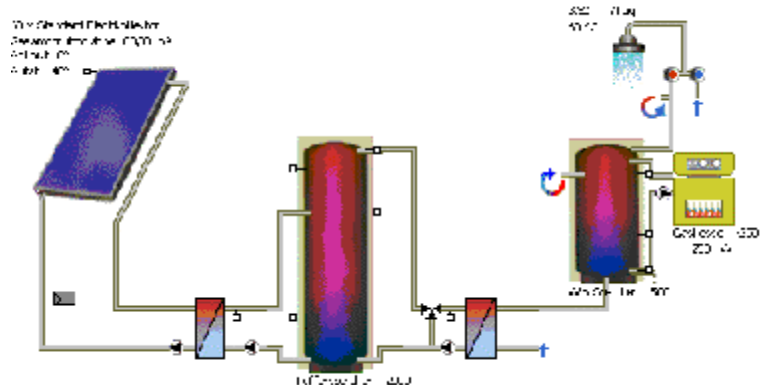
#### *Kopplung des Solarsystems an die Gebäudeleittechnik und Monitoring*

Solarsysteme im Geschosswohnbau werden immer bivalent in Verbindung mit konventionellen Kesselanlagen betrieben. Somit wird ein gänzlicher Betriebsausfall immer durch die Hauptheizungsanlage kompensiert und deshalb von den Verantwortlichen häufig nicht bzw. zeitverzögert registriert. Um dem entgegenzuwirken, empfiehlt es sich, bei Solaranlagen eine permanente Kontrollroutine zu installieren. Kann das bei kleineren Projekten durch visuelle Signale (Lampen, Displayanzeigen, etc.) an den zuständigen Heizungsverantwortlichen kommuniziert werden, so muß bei größeren Projekten die Solaranlage an die ohnehin für die Hauptheizungsanlage nötige Sammelstörmeldung gekoppelt werden. Dadurch ist gewährleistet, dass Anlagenstörungen per SMS oder Email direkt zur verantwortlichen Stelle weitergeleitet werden. Für die einfache Fernüberwachung bei Solaranlagen hat sich in Verbindung mit frei programmierbaren Regelungen folgendes Kriterium als aussagekräftig erwiesen: Liegt die Kollektortemperatur um ca. 45 K über der Energiespeichertemperatur im untersten Bereich und ist gleichzeitig die Speichermaximaltemperatur (z.B. 90°C) an der gleichen Stelle nicht erreicht, dann soll eine automatische Fehlermeldung generiert werden. Zudem sollte eine automatisierte Auslesung des Solarertrags in Verbindung mit einem einfachen Standardwärmehähler im Sekundärkreis des Solarsystems und der Vergleich mit den Daten aus dem Einstrahlungssensor erfolgen. Ein solches Langzeit-Monitoring kann durch das Kompetenzzentrum Solar an der FH Trier betreut werden. (Fink, u.a. 25.10.06, S.5), auch (VDI 6002 Bl.1, S.40)



## Anlagendimensionierung (Simulations- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen)

Alle Simulationen wurden mit der aktuellen Version von T-Sol Expert 4.5.3 durchgeführt. Als Systemkonfiguration wurde für alle Objekte Variante A ausgewählt, um vergleichbare Ergebnisse zu erreichen. Bei einer späteren Realisierung in einer anderen Variante (B bis D) ist dabei mit besseren Erträgen zu rechnen, dies gilt insbesondere, da eine solare Deckung des Zirkulationsverbrauchs mit T-Sol nicht zu simulieren ist.



Zudem kann T-Sol weder eine geschichtete Beladung noch eine geschichtete Entladung des Solarpuffers berücksichtigen. Damit läßt sich der Solarertrag nochmals um mindestens 10% steigern. (Furbo 2004)

Die im Folgenden dargestellten solaren Erträge stellen daher einen vorsichtig ermittelten, minimalen Solarertrag dar, der bei Berücksichtigung der oben beschriebenen Systemplanung sicher übertroffen werden kann.

Damit sind auch alle folgenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf der sicheren Seite. Eingerechnet wurde eine in Aussicht gestellte 60%-ige Förderung im Konjunkturprogramm. Die in Ansatz gebrachten Systemkosten beruhen auf einer Abschätzung der Objekt-Randbedingungen wie oben beschrieben und wurden zwischen 450 und 550 Euro/m<sup>2</sup> angesetzt. Bei einer sorgfältigen Planung sollten diese Kosten, insbesondere bei Ersatzinvestitionen (z.B. in Olewig) gut zu erreichen sein.

Alle Wirtschaftlichkeitsberechnungen basieren auf folgenden Annahmen:

- ◆ Lebensdauer: 20 Jahre
- ◆ Kapitalzins: 2,5 %
- ◆ Preissteigerungsrate Energiebezug: 5,0 % (sehr konservativ!)
- ◆ Preissteigerungsrate Betriebskosten: 1,5 %
- ◆ aktuelle Energiekosten (Gas/Öl): 0,04 €/kWh  
(entspricht etwa 0,4 €/l Heizöl oder m<sup>3</sup> Gas)

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgten nach der Kapitalwertmethode in Anlehnung an die VDI 2067. Andere Methoden können zu anderen Ergebnissen führen.

Die Ausgangsdaten der nun folgenden Simulationsrechnungen sind im Anhang zusammengestellt. Die Größe der berechneten Anlagen richtete sich an der möglichen Kollektorfläche auf den Objekten sowie an den möglichen zusätzlichen Speichern in den Objekten. Wo möglich und sinnvoll wurden zwei Varianten berechnet: eine kleinere, wirtschaftlich optimierte, und eine größere mit mehr Solarertrag und CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Die Ergebnisse der Berechnungen werden am Schluß in den abgeleiteten Empfehlungen zusammengefaßt.

### Kleeburger Weg

Berechnung von 2 Varianten, wobei die kleinere mit Kollektoren auf nur einem Block des Gebäudes B umgesetzt werden kann, bei der großen Variante wird das gesamte Dach des Gebäudes B genutzt.

#### Kleine Variante mit 100m<sup>2</sup> Kollektorfläche

##### Simulationsergebnisse

Installierte Kollektorleistung:	70,00 kW	
Installierte Kollektorfläche (Brutto):	100 m <sup>2</sup>	
Einstrahlung Kollektorfläche:	116,86 MWh	1.168,61 kWh/m <sup>2</sup>

Abgegebene Energie Kollektoren:	46,97 MWh	469,74 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	45,15 MWh	451,50 kWh/m <sup>2</sup>

Energielieferung Trinkwarmwassererwärmung:	135,53 MWh
Energie Solarsystem an Warmwasser:	45,35 MWh
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	188,13 MWh

Einsparung Erdgas H:	7.913,6 m <sup>3</sup>
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen:	16.734,47 kg
Deckungsanteil Warmwasser:	19,4 %
Anteilige Energieeinsparung (EN 12976):	19,9 %
Systemnutzungsgrad:	38,8 %

#### *Wirtschaftlichkeitsberechnung*

Ertrag des Systems:	45,35 MWh
jährl. Stromverbrauch Pumpen:	682,85 kWh/a
jährl. Brennstoffeinsparung:	7.913,6 m <sup>3</sup>

#### Kosten (Barwerte)

Investitionen (550€/m <sup>2</sup> ):	-55.000 €
Förderung:	33.000 €
Einsparung:	78.406 €
Betriebskosten:	-11.495 €

Kapitalwert:	44.911 €
Amortisationszeit:	7,99 Jahre
Wärmepreis:	0,05 €/kWh

### **Große Variante mit 160m<sup>2</sup> Kollektorfläche**

#### *Simulationsergebnisse*

Installierte Kollektorleistung:	112,00 kW	
Installierte Kollektorfläche (Brutto):	160 m <sup>2</sup>	
Einstrahlung Kollektorfläche:	186,98 MWh	1.168,61 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektoren:	61,81 MWh	386,33 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	58,74 MWh	367,12 kWh/m <sup>2</sup>

Energielieferung Trinkwarmwassererwärmung:	135,53 MWh
Energie Solarsystem an Warmwasser:	58,6 MWh
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	175,27 MWh

Einsparung Erdgas H:	10.224,5 m <sup>3</sup>
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen:	21.621,10 kg
Deckungsanteil Warmwasser:	25,1 %
Anteilige Energieeinsparung (EN 12976):	25,5 %
Systemnutzungsgrad:	31,3 %

#### *Wirtschaftlichkeitsberechnung*

Ertrag des Systems:	58,60 MWh
jährl. Stromverbrauch Pumpen:	693,27 kWh/a
jährl. Brennstoffeinsparung:	10.224,5 m <sup>3</sup>

#### Kosten (Barwerte)

Investitionen (500€/m <sup>2</sup> ):	-80.000 €
Förderung:	48.000 €
Einsparung:	101.301 €

Betriebskosten:	-15.972 €
Kapitalwert:	53.328 €
Amortisationszeit:	8,990 Jahre
Wärmepreis:	0,05 €/kWh

### **Martinskloster**

Berechnung einer Variante, die den über dem Heizungskeller gelegenen Dachbereich maximal nutzt.

#### *Simulationsrechnung*

Installierte Kollektorleistung:	43,40 kW	
Installierte Kollektorfläche (Brutto):	62 m <sup>2</sup>	
Einstrahlung Kollektorfläche:	70,86 MWh	1.142,87 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektoren:	24,20 MWh	390,39 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	20,80 MWh	335,52 kWh/m <sup>2</sup>

Energielieferung Trinkwarmwassererwärmung:	63,65 MWh
Energie Solarsystem an Warmwasser:	20,86 MWh
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	108,84 MWh

Einsparung Erdgas H:	2.860,3 m <sup>3</sup>
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen:	6.048,54 kg
Deckungsanteil Warmwasser:	16,1 %
Anteilige Energieeinsparung (EN 12976):	16,6 %
Systemnutzungsgrad:	29,4 %

#### *Wirtschaftlichkeit*

Ertrag des Systems:	20.863,12 kWh
jährl. Stromverbrauch Pumpen:	487,35 kWh/a
jährl. Brennstoffeinsparung:	2.860,3 m <sup>3</sup>

#### Kosten (Barwerte)

Investitionen (500€/m <sup>2</sup> ):	-31.000 €
Förderung:	18.600 €
Einsparung:	28.339 €
Betriebskosten:	-6.735 €

Kapitalwert:	9.205 €
Amortisationszeit:	13,080 Jahre
Wärmepreis:	0,06 €/kWh

### **Olewig**

Berechnung einer Variante, die das Dach von Haus 3 & 4 maximal nutzt.

#### *Simulationsergebnisse:*

Installierte Kollektorleistung:	42,00 kW	
Installierte Kollektorfläche (Brutto):	60 m <sup>2</sup>	
Einstrahlung Kollektorfläche:	70,12 MWh	1.168,61 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektoren:	25,80 MWh	430,05 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	23,92 MWh	398,62 kWh/m <sup>2</sup>

Energielieferung Trinkwarmwassererwärmung:	70,46 MWh
Energie Solarsystem an Warmwasser:	23,97 MWh
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	113,06 MWh

Einsparung Heizöl EL:	4,3 m <sup>3</sup>
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen:	11.502 kg
Deckungsanteil Warmwasser:	17,5 %
Anteilige Energieeinsparung (EN 12976):	18,0 %
Systemnutzungsgrad:	34,2 %

#### *Wirtschaftlichkeitsberechnung*

Ertrag des Systems:	23.965,83 kWh
jährl. Stromverbrauch Pumpen:	649,80 kWh/a
jährl. Brennstoffeinsparung:	4,3 m <sup>3</sup>

Kosten (Barwerte)	
Investitionen (450€/m <sup>2</sup> ):	-27.000 €
Förderung:	16.200 €
Einsparung:	42.801 €
Betriebskosten:	-6.427 €

Kapitalwert:	25.574 €
Amortisationszeit:	7,3 Jahre
Wärmepreis:	0,05 €/kWh

### **Petrisberg**

Berechnung von 2 Varianten, wobei die kleinere nur die Südfassade der östlichen Gebäudereihe nutzt, bei der großen Variante wird auch die Fassade der westlichen Reihe belegt.

#### **Kleine Variante 86 m<sup>2</sup>**

##### *Simulationsergebnisse*

Installierte Kollektorleistung:	60,20 kW	
Installierte Kollektorfläche (Brutto):	86 m <sup>2</sup>	
Einstrahlung Kollektorfläche:	67,88 MWh	789,25 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektoren:	29,34 MWh	341,19 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	28,25 MWh	328,44 kWh/m <sup>2</sup>

Energielieferung Trinkwassererwärmung:	173,97 MWh
Energie Solarsystem an Warmwasser:	28,81 MWh
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	295,23 MWh

Einsparung Erdgas H:	3.949,8 m <sup>3</sup>
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen:	8.352,31 kg
Deckungsanteil Warmwasser:	8,9 %
Anteilige Energieeinsparung (EN 12976):	9,4 %
Systemnutzungsgrad:	42,4 %

#### *Wirtschaftlichkeit*

Ertrag des Systems:	28.812,29 kWh
jährl. Stromverbrauch Pumpen:	554,70 kWh/a
jährl. Brennstoffeinsparung:	3.950,1 m <sup>3</sup>

Kosten (Barwerte)	
Investitionen (500€/m <sup>2</sup> ):	-43.000 €
Förderung:	25.800 €
Einsparung:	39.137 €

Betriebskosten:	-9.039 €
Kapitalwert:	12.898 €
Amortisationszeit:	13,020 Jahre
Wärmepreis:	0,06 €/kWh

### **Große Variante 172 m<sup>2</sup>**

#### *Simulationsergebnisse*

Installierte Kollektorleistung:	120,40 kW	
Installierte Kollektorfläche (Brutto):	172 m <sup>2</sup>	
Einstrahlung Kollektorfläche:	135,75 MWh	789,25 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektoren:	44,69 MWh	259,81 kWh/m <sup>2</sup>
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	40,24 MWh	233,93 kWh/m <sup>2</sup>

Energielieferung Trinkwassererwärmung:	173,97 MWh
Energie Solarsystem an Warmwasser:	40,67 MWh
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	283,74 MWh

Einsparung Erdgas H:	5.575,2 m <sup>3</sup>
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen:	11.789,52 kg
Deckungsanteil Warmwasser:	12,5 %
Anteilige Energieeinsparung (EN 12976):	13,1 %
Systemnutzungsgrad:	30,0 %

#### *Wirtschaftlichkeit*

Ertrag des Systems:	40,67 MWh
jährl. Stromverbrauch Pumpen:	803,72 kWh/a
jährl. Brennstoffeinsparung:	5.575,2 m <sup>3</sup>

#### *Kosten (Barwerte)*

Investitionen (500€/m <sup>2</sup> ):	-86.000 €
Förderung:	51.600 €
Einsparung:	55.237 €
Betriebskosten:	-17.316 €

Kapitalwert:	3.521 €
Amortisationszeit:	18,67 Jahre
Wärmepreis:	0,08 €/kWh

# Empfehlungen

## Kleeburger Weg

Es wird empfohlen, auf Haus B die Solaranlage der großen Variante mit insgesamt 160 m<sup>2</sup> Kollektorfläche aufzubauen. Die große Variante ist nahezu genauso wirtschaftlich, erzeugt aber wesentlich mehr solar erwärmtes Trinkwasser als die kleine Variante.

Die Investitionskosten dafür belaufen sich auf ca. 80.000 €. Die Anlage hat sich nach spätestens 9 Jahren amortisiert, die Einsparungen durch die Anlage betragen in 20 Jahren mindestens 101.000 €.

## Martinskloster

Es wird empfohlen, auf dem Neubau eine Solaranlage mit 62 m<sup>2</sup> aufzubauen. Die Investitionskosten dafür belaufen sich auf ca. 31.000 €. Die Anlage hat sich nach spätestens 13 Jahren amortisiert, die Einsparungen durch die Anlage betragen in 20 Jahren mindestens 28.000 €.

In einem zweiten Schritt sollte auf dem denkmalgeschützten Altbau eine Erweiterung erfolgen.

## Olewig

Es wird empfohlen, auf Haus 3 und 4 eine Solaranlage mit insgesamt 60 m<sup>2</sup> Kollektorfläche aufzubauen. Aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen (Warmwasserbereitung erneuerungsbedürftig) belaufen sich die Investitionskosten dafür auf ca. 27.000 €. Die Anlage hat sich nach spätestens 7,5 Jahren amortisiert, die Einsparungen durch die Anlage betragen in 20 Jahren mindestens 42.800 €.

Aufgrund der notwendigen Sanierung der bestehenden Warmwasserbereitung ist diese Installation besonders sinnvoll und kann durch „Sowieso-Investitionskosten“ noch günstiger dargestellt werden.

## Petrisberg

Es wird empfohlen, die große Variante mit Kollektoren an den Südfassaden der Gebäude 1 und 4 mit insgesamt 172 m<sup>2</sup> Kollektorfläche umzusetzen. Die Investitionskosten dafür belaufen sich auf ca. 86.000 €. Die Anlage für sich betrachtet ist zwar an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit, durch den zusätzlichen Schutz der Fassade durch die Kollektoren werden jedoch die Bausubstanz besonders geschont und weitere Einsparungen erzielt. Allein die Einsparungen an der Warmwasserbereitung durch die Anlage betragen in 20 Jahren mindestens 55.000 €.

## Tarforst

Die Installation einer Solaranlage ist erst bei einer großen Umbaumaßnahme und Sanierung der Fassaden sinnvoll.

## Zusammenfassung

Es wird empfohlen, auf vier von fünf Wohnheimen des Studentenwerks Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von insgesamt 454 m<sup>2</sup> zu errichten.

Die Investitionen dafür betragen rund 224.000 Euro und können im Konjunkturprogramm II mit voraussichtlich 60% bezuschusst werden.

Damit lassen sich insgesamt Heizkosten in Höhe von mindestens 226.000 Euro einsparen und es werden jährlich ca. 50 t CO<sub>2</sub> weniger emittiert.

Das Studentenwerk zeigt damit anschaulich und nachhaltig, wie sich Wirtschaftlichkeit, Umweltschutz und soziales Engagement durch die Nutzung der Solarenergie vereinen lassen.

## Literaturverzeichnis

- AEE Intec (Hg.) (2002): Fassadenkollektoren - Energie aus der Fassade. Gleisdorf.
- Austria Solar Innovation Center (Hg.) (9.11.05): Solarguide. Handbuch zur Planung von thermischen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser.
- Behling, Gabriele (2007): Legionellen im Trinkwasser. Vorkommen, Infektion, Gefahrenpotenzial, Prävention und Sanierung. Herausgegeben von Umwelt und Gesundheit Fachinformationsdienst Lebenswissenschaften. GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in der Helmholtz-Gemeinschaft. München. Online verfügbar unter <http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Infopapiere/Legionellen2007.pdf>.
- Benner, Martin; Hahne, Erich (1998): Solare Nahwärme. Ein Leitfaden für die Praxis; ein BINE Informationspaket. Köln: TÜV-Verlag.
- Brillinger, Prof.Dr.M.H.; Pufahl, TH.; Valentin, Dr.G. (Februar 2004): Energie- und wassersparende Maßnahmen bei der Warmwasserverteilung im Wohnungsbau. Forschungsbericht des BMBWFT, Förderkennzeichen 0327228A.
- BTD Behältertechnik Heiz- und Trinkwassersysteme GmbH & Co. KG (26.05.06): Planung & Auslegung von Trinkwassererwärmern.
- Bundesregierung (24.7.2007): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV2007).
- Bühl, Jürgen; Müller, Matthias (29.11.07): Abschlussbericht Rehaklinik Bad Frankenhausen. Förderprogramm "Solarthermie 2000" Teilprogramm 2, Bericht Messprogramm 1. - 3. Messjahr. Herausgegeben von Fakultät für Maschinenbau Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik TU Ilmenau.
- DIN 4708-1, April 1994: DIN 4708: Zentrale Wassererwärmungsanlagen Teil 1: Begriffe und Berechnungsgrundlagen.
- DIN 4708-2, April 1994: DIN 4708: Zentrale Wassererwärmungsanlagen Teil 2: Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfs zur Erwärmung von Trinkwasser in Wohngebäuden.
- DVGW Technische Regel, Arbeitsblatt W 551, April 2004: Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasserinstallationen.
- Fink, Christian; u.a. (25.10.06): Hocheffiziente Solarsysteme im mehrgeschossigen Wohnungsbau. Ein Leitfaden. Herausgegeben von Salzburger Institut für Raumordnung & Wohnen.
- Furbo, Simon (2004): Advantages by discharge from different levels in solar storage tanks. In: ISES Europe (Hg.): EuroSun 2004, 14. Intern. Sonnenforum. [proceedings]. Freiburg: PSE GmbH, Bd. 1, S.282-291.
- Informationsdienst, BINE (7.06.06): Gebäude sanieren - Studentenwohnheim Neue Burse Wuppertal.
- Informationsdienst, BINE (2.06.08): Thermische Solaranlagen - Studentenwohnheime.
- Informationsdienst, BINE (2008): Große Solarwärmeanlagen für Gebäude. In: BINE Themeninfo, Jg. 2008, FIZ Karlsruhe (Hg.), Karlsruhe.
- ISES Europe (Hg.) (2004): EuroSun 2004, 14. Intern. Sonnenforum. [proceedings]. Freiburg: PSE GmbH.
- Ladener, Heinz; Späte, Frank; Fisch, M. Norbert (2001): Solaranlagen. Handbuch der thermischen Solarenergienutzung. 7. verb. Aufl. Staufen bei Freiburg: Ökobuch.
- METEONORM (2009): Version 6.1. Bern: Meteotest. Online verfügbar unter [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com).

Oberzig, Klaus (2008): Solare Wärme. Vom Kollektor zur Hausanlage. 2., vollst. überarb. Aufl. Berlin: Solarpraxis (BINE-Informationspaket).

Recknagel, Sprenger Schramek, et al. (Hg.) (2001): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik ; [2001/02]. 70. Aufl. München: Oldenbourg.

Remmers, Karl-Heinz (2001): Große Solaranlagen. Einstieg in Planung und Praxis. 2., überarb. Aufl. Berlin: Solarpraxis (Solarpraxis).

Scheuren, Jörn (2007): Analyse und Vorhersage des Stagnationsverhaltens mittelgroßer thermischer Solaranlagen. Beitrag im Jahresbericht des ISFH 2007. Herausgegeben von Institut für Solarenergieforschung Hameln ISFH.

Schwenk, Christiane (1999): Sonne für Hotels. Planung von Kollektoranlagen zur Warmwasserbereitung für Beherbergungsbetriebe. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von Alexander Thür, Michael Mack und Werner Weiß. Gleisdorf: Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie; AEE.

Storch, Alexander; Bintinger, Rudolf (2004): Untersuchung der Struktur des Brauchwasserbedarfes einer Wohnhausanlage zur Verbesserung der Dimensionierung solarer Warmwasserbereitung. Herausgegeben von Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH. Online verfügbar unter <http://www.arsenal.ac.at/downloads/Publikationen/2004/Untersuchung%20der%20Struktur.pdf>.

Valentin, Dr.-Ing. Gerhard (1.06.06): Optimierung thermischer Solaranlagen durch Simulation

VDI 6002 Bl. 1, Juni 2003: VDI 6002 Solare Trinkwassererwärmung Blatt 1: Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau.

VDI 6002 Bl. 2, Februar 2009: VDI 6002 Solare Trinkwassererwärmung Blatt 2: Anwendungen in Studentenwohnheimen, Seniorenheimen, Krankenhäusern, Hallenbädern und auf Campingplätzen.

Wuppertal, Uni (31.10.08): Sanierung Neue Burse Wuppertal - Finaler Projektbericht.



## Anhang: Parameterübersicht zu den Anlagensimulationen

### In allen Simulationen gleich verwendete Parameter:

Wetterdaten:	Stundenprofil Standort Trier aus Meteonorm 6.0
Kollektortyp:	T-Sol Standard Flachkollektor
Anbindung Kollektor:	mit drehzahlgeregelten Pumpen im Matchflow, max. Volumenstrom 30-40l/m <sup>2</sup> je nach Kollektorgröße, Wärmetauscher mit 4K mittlere log. Temperaturdifferenz, Dämmung der Rohrleitungen mit 150%
Pufferspeicher Dämmung:	200mm
Warmwassersolltemperatur:	60°C mit täglicher Legionellenschaltung
Warmwasser-Wärmetauscher:	mit drehzahlgeregelter Pumpe, 4K mittlere log. Temperaturdifferenz
Zirkulationsrücklauftemperatur:	55°C
Betrieb Zirkulationspumpe:	6:00 – 24:00 Uhr

Parameter / Objekt	Kleeburger Weg		Martins kloster	Olewig	Petrisberg	
	kleine Variante	große Variante	Neubau		kleine Variante	große Variante
<b>Kollektor</b>						
Kollektorfläche	100 m <sup>2</sup>	160 m <sup>2</sup>	62 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	86 m <sup>2</sup>	172 m <sup>2</sup>
Ausrichtung	Süd		Süd	Süd	15°	
Aufstellwinkel	40°		45°	40°	90°	
Verrohrung einfache Länge total	40 m	40 m	60	42 m	60	170
<b>Speicher</b>						
Pufferspeicher Volumen	2,5 m <sup>3</sup>	2 x 2,5 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>	3,57 m <sup>3</sup>
Warmwasserspeicher Volumen	0,95 m <sup>3</sup> liegend		1 m <sup>3</sup> stehend	0,5 m <sup>3</sup>	1,5 m <sup>3</sup> liegend	
<b>Warmwasserverbrauch</b>						
Vollbelegungspersonen (VP)	320		150	166	410	
täglicher Verbrauch (20l/VP)	6,4 m <sup>3</sup>		3,0 m <sup>3</sup>	3,32 m <sup>3</sup>	8,2 m <sup>3</sup>	
Länge Zirkulationsleitung	400 m		300 m	250 m	900 m	
Sommerbelegung	60 %		70 %	50 %	70 %	
<b>Nachheizung konventionell</b>	Gaskessel 500 kW		Gasbrennwert 640 kW	Ölkessel 250kW	Gasbrennwert 600 kW	
Nutzungsgrad (Heizperiode/Sommer)	85% / 55%		95 % / 70 %	85% / 55%	95 % / 70 %	
<b>Wirtschaftlichkeit</b>						
Systemkosten	550 €/m <sup>2</sup>	500 €/m <sup>2</sup>	500 €/m <sup>2</sup>	450 €/m <sup>2</sup>	500 €/m <sup>2</sup>	500 €/m <sup>2</sup>