



Große Solaranlagen in der Gebäudesanierung

Abb 1



- ▶ Die sorgfältige Auswahl eines Gebäudes und dessen energetische Sanierung sind Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit
- ▶ Bei der Dimensionierung großer Vakuumröhren-Kollektorfelder wie auch der hydraulischen Integration in das konventionelle Heizsystem besteht noch Forschungsbedarf
- ▶ Bei gut zugänglichen Kollektorfeldern muss mutwilliger Beschädigung vorgebeugt werden
- ▶ Solare Wärmekosten von 13 ct/kWh sind erreichbar

Wohngebäude in Gera:
energetisch und architektonisch anspruchsvolle Sanierung

Die grundlegende Sanierung eines Gebäudes schreibt dessen Energieverbrauch oft auf Jahrzehnte fest. Daher sollten bei der Planung einer Sanierung alle wirtschaftlichen Möglichkeiten ausgelotet werden, den fossilen Energiebedarf des Gebäudes dauerhaft zu senken. Insbesondere bei großen Gebäuden mit einem hohen und möglichst gleichmäßigen Warmwasserbedarf können thermische Solaranlagen einen deutlichen Beitrag zur Wärmeversorgung liefern. Die technischen Möglichkeiten sind heute so weit ausgereift, dass zumindest die Trinkwasservorwärmung mit Solarenergie zum festen Bestandteil einer Gebäudesanierung gehören kann.

Obwohl sich viele Gebäude hierfür eignen, wurden bisher nur wenige Anlagen ausgeführt. Die Investoren solcher Gebäude waren von der Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit der Systeme nicht überzeugt. Auch fehlten Planungsgrundlagen für Architekten und Fachplaner, zumal Großanlagen nicht in dem gleichen Maße standardisiert werden können, wie dies bei Kleinanlagen erreicht wurde.

Mit dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) getragenen Förderkonzept "Solarthermie2000" sollten durch begleitende Messprogramme und Monitoring der Anlagen zuverlässige Daten für die Planung, Dimensionierung und Ausführung großer Solaranlagen in unterschiedlichen Einsatzgebieten erarbeitet werden.

Zwischen 1994 und 2003 wurden rund 60 Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung gefördert und wissenschaftlich-technisch begleitet. Während der Programmlaufzeit verlagerte sich der Förderschwerpunkt von Krankenhäusern und Wohn- bzw. Seniorenheimen zunehmend zu großen Wohngebäuden.

Die Erfahrungen mit den Demonstrationsanlagen zeigen, dass große solarthermische Anlagen zuverlässig und effizient arbeiten. Solare Wärmekosten von 13 Ct/kWh sind erreichbar. Dies belegen auch die hier vorgestellten vier Beispiele aus Thüringen, die durch die TU Ilmenau wissenschaftlich begleitet wurden.

► Pultdach als „solar roof“

Bei dem Komplettumbau eines ehemals 6-geschossigen Plattenbaus (Abb 2) in Gera wurde neben einer wärmedämmenden Fassade auch eine dach- und fassadenintegrierte Solaranlage zur Warmwasserbereitung installiert. Die umfangreichen baulichen Maßnahmen sahen einen Geschossrückbau, völlig neue Wohnungsgrundrisse mit Maisonette-Wohnungen und zusätzlichen Dachgeschoss-

wohnungen, den Anbau von Loggien sowie barrierefreie Fahrstühle vor. Für die baulich und energetisch innovative Sanierung wurde die Wohnungsbaugenossenschaft vom Bund Deutscher Architekten, dem Deutschen Städtetag und dem Bundesverband Deutscher Wohnungsunternehmen mit dem Bauherrenpreis 2003 ausgezeichnet (Abb 1).

Solaranlage

Die Solarkollektoren übernehmen als „solar-roof“ gleichzeitig die Funktion von Dach bzw. Außenfassade. Sie sind als Pultdach und in die Fassade einer Dachgeschosswohnung integriert. Die Anlagen- und Messtechnik befindet sich im Keller des Gebäu-

Abb 2a: Plattenbau (WBS 70) vor der Sanierung



aktive Absorberfläche Dach + Fassade	73,2 m ² + 25,3 m ²
Kollektoranordnung	Dach und Fassadenintegriert
Ausrichtung/Neigung	SSO-30°/ 29°; SSO-30°/ 90°
Solar-Pufferspeicher	5 m ³

Abb 2b: während der Sanierung



► Kollektoranlage auf dem Flachdach

Das Wohnhochhaus in Plattenbauweise wurde 1979 in Weimar errichtet. Der ursprünglich aus drei Gebäuden bestehende Komplex

beinhaltet Gewerbeflächen im Erdgeschoss und 198 Wohnungen in 7 bzw. 10 Obergeschossen mit ca. 395 Bewohnern.

Nach einer umfassenden Sanierung der Sanitär- und Heiztechnik wurde der Warmwasserverbrauch über einen längeren Zeitraum gemessen, um Daten für die Dimensionierung der geplanten Solaranlage zu sammeln. Anhand dieser Messwerte legten die Planer die Solaranlage für einen täglichen Warmwasserverbrauch von 8 m³ aus. Die Modernisierung wurde ab April 2001 mit der Sanierung des Daches, der Fenster sowie der Gebäudefassade fortgesetzt und mit der Installation der Solaranlage im Frühjahr 2002 abgeschlossen.

Solaranlage

Das Kollektorfeld ist auf dem Flachdach des westlichen Gebäudes aufgeständert und von der Straße gut zu sehen. Die Anlagen-

Abb 4: Stahlprofil-Aufständerung der Solarkollektoren



aktive Absorberfläche	118 m ²
Aufständerung	Stahlprofile
Ausrichtung/Neigung	S/45°
Solar-Pufferspeicher	6 m ³

Garantierte Solarerträge

Bei den geförderten Solarprojekten muss die ausführende Firma eine solare Ertragsgarantie abgeben. Die begleitenden Hochschulen geben dazu einheitliche Randbedingungen mit Verbrauchsprofilen, Größe der Anlagen und der Speicher etc. vor. Mit Abgabe der Angebote garantieren die Bieter einen solaren Mindestertrag. In Übereinstimmung mit der VOB erhält das Angebot mit den niedrigsten solaren Nutzwärmekosten in €/kWh den Zuschlag. Diese müssen bei reinen Warmwasser-Anlagen z. Zt. weniger als 0,13 €/kWh betragen. Vor der Vergabe wird über Simulationsprogramme geprüft, ob der vom Bieter abgegebene Ertrag mit dem System erreichbar ist. Die solaren Nutzwärmekosten werden für alle Projekte einheitlich nach einem vereinfachten Verfahren berechnet. Dabei werden die annuisierten Investitionskosten (incl. Planung und Mwst. und ohne Förderung) durch den ga-

rantierten Solarertrag geteilt. Die Annuität beträgt 8,72% entsprechend einem Zinssatz von 6% und einer Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren. In einem dreijährigen Messzeitraum muss der Garantiertrag mindestens in einem Jahr erbracht werden, wobei die tatsächlich gemessenen Werte für Strahlung und Warmwasserverbrauch berücksichtigt werden. Wegen möglicher Toleranzen und auch Ungenauigkeiten im Messsystem und auch bei den Simulationsprogrammen gilt die Garantie als erfüllt, wenn mindestens 90% des garantierten, korrigierten Wertes des Systemertrages oder des Systemnutzungsgrades erreicht ist. Ist die Garantie nach dem 1. oder 2. Messjahr noch nicht erbracht, muss der Errichter die Anlage optimieren oder ansonsten eine Minderung akzeptieren. Von den bundesweit 58 errichteten Anlagen haben 40 bereits die solare Ertragsgarantie erfüllt (Stand März 2006).

Abb 3: Betriebsergebnisse

Warmwasserverbrauch	1.900 m ³ /a
erreichter Solarertrag	42.200 kWh/a
spezifischer Solarertrag	428 kWh/m ² a
Zapf-Deckungsanteil	40,6%
vermiedenes CO ₂	10,1 t/a
spezifische Systemkosten	962 €/m ²
Kosten der solaren Nutzwärme	0,169 €/kWh

des. Dabei musste der kellergeschweißte 5m³- Solarpufferspeicher aus Platzgründen um einen Meter im Boden versenkt werden.

Betriebsergebnisse

Die Solaranlage sollte den Wärmeenergiebedarf für Warmwasser zu 30% decken und ca. 50 MWh/a bereitstellen. Im 1. Messjahr lieferte sie knapp 37 MWh/a und im 2. Messjahr (bis Juli 2005) 42 MWh/a. Wetter- und verbrauchsbereinigt wurde damit der garantierte Solarertrag mit 96,6% und der Systemnutzungsgrad mit 91,6% erfüllt. Trotz dieser guten Werte besteht noch Optimierungspotenzial: Durch den Einbau einer neuen Entladeregulierung kann der Solarertrag nach Simulationsrechnungen der TU Ilmenau um 20% gesteigert werden.

Abb 5: Betriebsergebnisse

Warmwasserverbrauch	3.008 m ³ /a
erreichter Solarertrag	61.600 kWh/a
spezifischer Solarertrag	512 kWh/m ² a
Zapf-Deckungsanteil	38,9%
vermiedenes CO ₂	14,8 t/a
spezifische Systemkosten	744 €/m ²
Kosten der solaren Nutzwärme	0,124 €/kWh

technik sowie der 6 m³ fassende Stahlspeicher befinden sich in zwei Kellerräumen direkt unter dem Kollektorfeld.

Betriebsergebnisse

Im ersten Messjahr wurde der Garantiertrag trotz optimaler Auslastung sehr knapp verfehlt. Es wird überprüft, ob das Kollektorfeld optimal durchströmt wird und ob die Werte der Globalstrahlung korrekt gemessen wurden.

► Solarsystem in der Außenanlage

Das fünfgeschossige Wohngebäude mit 160 Wohnungen am südöstlichen Stadtrand von Weißenfels wurde in Plattenbauweise (WBS72) errichtet. Das Gebäude und seine Technik war bereits zwischen 1996 bis 2000 umfassend saniert worden.

Abb 6: Überdachung eines Wäschetrockenplatzes



aktive Absorberfläche	98,5 m ²
Aufständerung	„Solar-roof“
Ausrichtung/Neigung	S+17° / 25°
Solar-Pufferspeicher	5 m ³

Solaranlage

Für die nachträgliche Installation der Solaranlage war weder auf dem Dach noch im Keller ausreichend Platz. Deshalb wurde die Solaranlage als Überdachung für einen Wäschetrocknenplatz zwischen den Gebäuden errichtet. Als Pufferspeicher dient ein im Freien stehender Standspeicher aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) mit thermischer Schichtenladeeinrichtung. Die übrige Anlagentechnik befindet sich im Keller des Gebäudes.

Betriebsergebnisse

Bedingt durch einige Mängel in der Bauausführung und Störungen im Anlagenbetrieb während der Probephase begannen die Messungen erst im November 2002, fünf Monate nach Inbetriebnahme. Die Solaranlage deckt mit ca. 50.000 kWh/a den Wärmeenergiebedarf des Gebäudes für Warmwasser zu 43% und erfüllte die Garantiebedingungen bereits im ersten Messjahr. Seit Ende der Intensivmessphase im November 2005 läuft die Anlage störungsfrei. Als nach-

Abb 7: GFK-Pufferspeicher und elektronische Anzeigetafel



Abb 8: Betriebsergebnisse

Warmwasserverbrauch	2.480 m ³ /a
erreichter Solarertrag	49.600 kWh/a
spezifischer Solarertrag	477 kWh/m ² a
Zapf-Deckungsanteil	34,9%
vermiedenes CO ₂	10,2 t/a
spezifische Systemkosten	820 €/m ²
Kosten der solaren Nutzwärme	0,149 €/kWh

teilig erwies sich die relativ bodennahe Aufständerung des Kollektors. Bisher kam es mehrere Male zu offensichtlich mutwilligen Beschädigungen der Kollektorverglasung.

► Vakuumröhren als Fassadenelemente

Das 11-geschossige Wohngebäude in unmittelbarer Nähe zur Erfurter Altstadt ist Teil einer größeren Hochhauswohnsiedlung. Eine vollständige Gebäudesanierung zwischen 1999 und 2001 umfasste die Erneuerung von Fenstern, Dach, Heizung, sa-

Abb 9: Röhrenkollektoren als Fassadenelemente



aktive Absorberfläche	119 m ²
Aufständerung	Fassadenintegriert
Ausrichtung/Neigung	S-20°/45°
Solar-Pufferspeicher	10 m ³

nitären Einrichtungen und der Fassade. Dabei wurde eine Röhrenkollektoranlage mit einer speziell hierfür entwickelten Balkonverkleidung in die Gebäudehülle integriert. Es sind jeweils 2 Module zu einem Balkonmodul verbunden. Die Röhren in den Modulen sind um 45° gedreht montiert, um eine optimale Ausrichtung der Absorber bei senkrechter Montage zu erreichen.

Solaranlage

Der Auslegungsverbrauch von 14m³ pro Tag ergibt sich aus dem durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von 25 Litern pro Tag bei ca. 560 Hausbewohnern. Das Kollektorfeld besteht aus 180 Vakuumröhrenkollektormodulen. Die Anlagen- und Messtechnik wurde im Keller des Gebäudes integriert.

Betriebsergebnisse

Die dreijährige Intensivmessphase endete im Juni 2004. Zwar erfüllt die Anlage die Garantiebedingungen, für die Vakuumröhrenkollektoren war allerdings ein deutlich

Abb 10: Betriebsergebnisse

Warmwasserverbrauch	4.700 m ³ /a
erreichter Solarertrag	52.000 kWh/a
spezifischer Solarertrag	436 kWh/m ² a
Zapf-Deckungsanteil	22,1%
vermiedenes CO ₂	13,7 t/a
spezifische Systemkosten	1.390 €/m ²
Kosten der solaren Nutzwärme	0,272 €/kWh

besserer Kollektorwirkungsgrad erwartet worden. Eine Ursache für den Minderertrag ist eine teilweise Eigenverschattung der Röhren in der vertikalen Anordnung. Ob der unzureichende Kollektornutzungsgrad auch durch zu geringe Durchströmung der Röhren, ungleichmäßige Strömungsverteilung im Feld oder durch weitere Ursachen hervorgerufen wird, soll untersucht werden. Die Solaranlage spart bei der Warmwassererwärmung über drei Jahre insgesamt ca. 156 MWh bzw. jährlich 52 MWh. Dies entspricht durchschnittlich 22,1% des Gesamtbedarfs. Ein Ausfall von 8 Röhren im März 2002 ist auf mutwillige Beschädigung zurückzuführen.

Wissenschaftliche Projektbegleitung

Alle geförderten Anlagen werden in einem 3-jährigen Intensivmessprogramm und anschließend einer Langzeitvermessung wissenschaftlich betreut. Dazu ist eine umfangreiche Messtechnik installiert. So werden Strahlung, Temperaturen und Volumenströme im Solarkreis, Speicherkreis und Entladekreis sowie Statussignale aufgezeichnet und damit Wärmemengen, kumulierte Erträge, Pumpenlaufzeiten und Hilfsenergieverbräuche berechnet. Die Messgrößen werden in einem Datalogger erfasst und an die betreuende Hochschule zur Auswertung übertragen. Für eine öffentlichkeitswirksame

Darstellung befinden sich an den Anlagen elektronische Anzeigetafeln, die die aktuellen Messwerte und Betriebszustände anzeigen (Abb 7). Durch das projektbegleitende Messprogramm konnten Fehler bei der Errichtung bzw. dem Betrieb der Anlagen frühzeitig erkannt und Vorschläge zur Optimierung erarbeitet werden. Die Messergebnisse bildeten zudem eine wichtige Grundlage und Datenbasis für die Erarbeitung der neuen VDI-Richtlinie 6002 „Solare Trinkwassererwärmung – allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau“.

Fazit

Aufgrund guter Planung, Ausführung und Betreuung konnte das erste Messjahr für die vorgestellten großen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung bereits nach kurzer Probephase beginnen. Anfangsschwierigkeiten wurden zumeist rasch behoben und die Vorgaben für den solaren Energieertrag wurden erreicht. Das Konzept, die Anlagen relativ knapp zu dimensionieren, vermeidet unwirtschaftliche und eventuell die Lebensdauer der Kollektorkreis Komponenten negativ beeinflussende Stillstandszeiten. Mit der sehr einfachen Systemgestaltung können Instandhaltungskosten und Ausfallzeiten stark reduziert werden.

Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb ist eine genaue Ermittlung des Verbrauchsprofils und eine Sanierung bzw. Erneuerung der konventionellen Heiztechnik. Solaranlagen sollten für Altbauten als additiver Bestandteil einer umfassenden Gebäudesanierung geplant werden, bei der zunächst der Energiebedarf des Gebäudes minimiert und auch der konventionelle Energieerzeuger an den minimierten Energieverbrauch angepasst wird. Vielfach ist auch die Sanierung des Daches erforderlich, auf dem das Kollektorfeld mit einer Lebensdauer von über 20 Jahren installiert werden soll. Mit einer „solaren Sanierung“ d. h. durch Erneuerung des konventionellen Heizsystems und Integration der Solartechnik in das konventionelle System kann der Heizenergieverbrauch um 30 – 50% gesenkt werden.

Schon bald soll der Energieausweis für Wohngebäude bei jeder Vermietung und jedem Verkauf zur Pflicht werden. Dies wird – zusammen mit den steigenden Energiekosten – die Aufmerksamkeit von Mietern und Käufern verstärkt auf den Energiebedarf der Gebäude lenken. Thermische Solarkollektoren können zudem als attraktives Gestaltungselement genutzt werden, wenn sie dach- oder fassadenintegriert eingebaut werden und die energetische Qualität des Gebäudes auch optisch betonen. Bei der Planung gut zugänglicher Solarsysteme muss aber auch möglicher mutwilliger Beschädigung vorgebeugt werden.

Die Solaranlagen zur Warmwasserbereitung im Bestand tragen durchschnittlich nur ca. 5% zum gesamten Wärmebedarf des Gebäudes bei. Einen höheren Anteil erreichen Solaranlagen die auch die Heizung unterstützen. Bei Einfamilienhäusern gehört heute nahezu jede dritte neu installierte Anlage zu diesem Typ. Das neue Förderkonzept Solarthermie2000plus des Bundesumweltministeriums soll u.a. die wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen schaffen, dass auch in mehrgeschossigen großen Wohngebäuden zunehmend heizungsunterstützende Solarsysteme mit einem solaren Deckungsanteil über 10% am Gesamtwärmeverbrauch zunehmend Anwendung finden.

PROJEKTADRESSEN

- TU Ilmenau
Fakultät Maschinenbau
FG Thermo- und
Magnetofluidynamik
Dipl.-Ing. Jürgen Bühl
PF 100565
98684 Ilmenau

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Bühl, J.; Müller, M.; Nilus, A. (Bearb.):
Wissenschaftliche Programmbegleitung
und Messprogramm Solarthermie2000 für
Solaranlagen im Freistaat Thüringen (Pro-
jektphase 2). Schlussbericht/Sachbericht.
Technische Univ. Ilmenau. Fachgebiet
Thermo- und Fluidodynamik (Hrsg.) 2004.
ca.270 Bl.
- Die Anlagen, Ergebnisse und Erfahrungen
des Förderkonzeptes sind im Internet unter
www.solarthermie2000.de/ Teilprogramm
2 dargestellt.
- Informationen zum
Förderkonzept Solarthermie2000plus
unter www.solarthermie2000plus.de

Service

- Ergänzende Informationen sind
bei BINE im Internet unter www.bine.info
(Service/Infoplus) und unter [www.energie-
projekte.de](http://www.energie-
projekte.de) abrufbar

Abbildungsnachweis

- Abb1: Beutler Ingenieure
- Abb 2a, 7, 9: TU Ilmenau Fakultät
Maschinenbau, FG Thermo- und Magne-
tofluidodynamik
- Abb 2b, 4, 6: J. Bühl Ilmenau

PROJEKTORGANISATION

Förderung

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

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWi u. BMU
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Peter Donat
Außenstelle Berlin
Wallstraße 18
10179 Berlin

Förderkennzeichen

0329603 G, R, W, X

IMPRESSUM

ISSN

0937 – 8367

Herausgeber

FIZ Karlsruhe GmbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Nachdruck

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

Author

Dr. Franz Meyer

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienz-
technologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter
www.bine.info und per Newsletter zeigt
BINE, wie sich gute Forschungsideen in
der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie geförderter
Informationsdienst der Fachinformati-
onszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie
die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79 - 44



BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Mechenstraße 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info