

# Gebäude- integration von Sonnen- kollektoren mit Flüssigkeits- kühlung

von Stefan Janßen,  
Gunter Rockendorf und  
Bernd Bartelsen

## Überblick

Es werden drei Methoden vorgestellt, aktive solarthermische Komponenten mit Flüssigkeit als Wärmeträger in die Gebäudehülle zu integrieren. Dabei dient der solarthermische Absorber als Überhitzungsschutz und die abgeführte Wärme kann einer Nutzung zugeführt werden. Der geringere jährliche Wärmeertrag im Vergleich zur Dachmontage wird durch ein gleichmäßigeres Ertragsprofil und eine verbesserte Wärmedämmung weitgehend ausgeglichen. Das neu entwickelte Elastomer-Metall-Absorber-Konzept (EMA-Konzept) ist in unterschiedliche Konfigurationen und Materialkombinationen umsetzbar und eröffnet attraktive Möglichkeiten der Kollektorinstallation. Die diskutierten Methoden lassen eine deutliche Kostenersparnis erwarten.

Three different methods are presented how to integrate active solar thermal components into building facades. The solar thermal absorber acts as overheating protection and the heat produced can be utilized further. The lower annual yield in comparison to roof-mounted installations is counterbalanced by a more uniform solar gain and an improved wall insulation. The new concept of elastomer-metal-absorbers can be realized in different configurations and material combinations and offers attractive options for collector installation. The methods discussed hold the promise of significant cost reductions.

## 1. Einleitung

Die Integration von aktiven Solarkomponenten in die Gebäudehülle eröffnet Möglichkeiten, Kosten einzusparen durch weniger Kollektorelemente, wie z. B. durch Entfall der rückseitigen Wärmedämmung, und durch den Wegfall von Gebäudekomponenten wie der Fassadenschutzschicht. Zum Vergleich sind die Kosten für die am Gebäude montierte Komponente heranzuziehen. Weiterhin führt die Integration von Solarabsorbern in die Gebäudehülle zu einer Wechselwirkung des thermischen Verhaltens vom Gebäude und vom Kollektor, die oftmals dem Gebäude und dem Kollektor zugute kommt. Zudem kann die Gebäudeintegration von Solarkomponenten zu gestalterischen Vorteilen führen. Im folgenden werden drei unterschiedliche Möglichkeiten zur Gebäudeintegration von Solarabsorbern vorgestellt, die im Rahmen von F&E-

Projekten am Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmenthal (ISFH) bearbeitet werden:

- Transparent wärmegeämmte Hybridfassaden,
- Fassadenintegrierte Flachkollektoren und
- Metallfassaden und -dächer als Elastomer-Metall-Absorber (EMA).

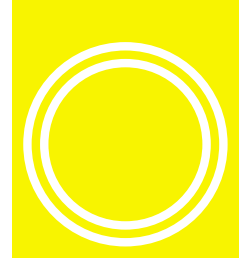
Während die beiden ersten genannten Konstruktionen für Südfassaden eingesetzt werden, eignet sich die dritte Konstruktion ebenfalls für Dachintegration. Die Konzepte befinden sich in der Entwicklungsphase. Funktionsweise, Vor- und Nachteile sowie gebäude- und systemtechnische Rückwirkungen werden ebenso diskutiert wie mögliche Anwendungen und Einsatzbereiche und das erwartete Kostenreduktionspotential. Dabei werden erste Ergebnisse präsentiert. Als Ausblick wird der Fortgang der jeweiligen Arbeiten skizziert.

## 2. Transparent wärmegeämmte Hybridfassaden

Eine effektive Methode, Überhitzung transparent wärmegeämmter Wände zu vermeiden und gleichzeitig die solaren Gewinne zu erhöhen, ist die direkte Kühlung der äußeren Wandoberfläche. Hierzu wird auf die Wandoberfläche ein Rohrleitungssystem aufgebracht, das bei Überhitzungsgefahr von einem Fluid durchströmt wird ([Abbildung 1](#)).

Die mit dem Fluid abgeführte Wärme kann zur Warmwasserbereitung oder zur Raumheizung genutzt werden. Neben seiner Funktion als Überhitzungsschutz erweitert der flüssigkeitsgekühlte Absorber das passiv-solare TWD<sup>1</sup>-System zu einem aktiv/passiv-solaren System: Während der Heizperiode hat das System die heizenergiesparende Wirkung eines konventionellen TWD-Systems; während der Sommermonate erzeugt das Hybrid-system zusätzlich Warmwasser nach Art eines thermischen Sonnenkollektors. Die Vorteile der transparent wärmegeämmten Hybridfassade sind [1]:

<sup>1</sup> TWD steht für transparente Wärmedämmung.



- Effektiver Überhitzungsschutz ohne aufwendige mechanische Verschattungseinrichtung (Abbildung 2).
- Einfacher Aufbau ohne mechanisch bewegte Teile, dadurch preiswert.
- Zusätzliche aktive Gewinne durch die Nutzung der mit dem Fluid abgeführten Wärme.

Nachteilig ist die niedrige, maximal zu erzielende Fluidaustrittstemperatur von etwa 40 °C, wodurch die Einsatzmöglichkeiten auf Systeme zur Wasservererwärmung oder Wärmepumpensysteme begrenzt sind.

Die Schwerpunkte des Vorhabens sind die konstruktive Gestaltung und Optimierung des Systems auf der Basis theoretischer und experimenteller Untersuchungen, die energetische Bewertung sowie die Demonstration und Bewertung des Systems in einem Pilotvorhaben [2].

Zur konstruktiven Gestaltung und Optimierung wurde ein dreidimensionales, instationäres numerisches Modell entwickelt, das die detaillierte Simulation des thermischen Verhaltens der TWD-Hybridfassade ermöglicht. Die Auswirkungen einer Variation sowohl der konstruktiven Gestal-

Abbildung 1: Aufbau der transparent wärmegeprägten Hybridfassade

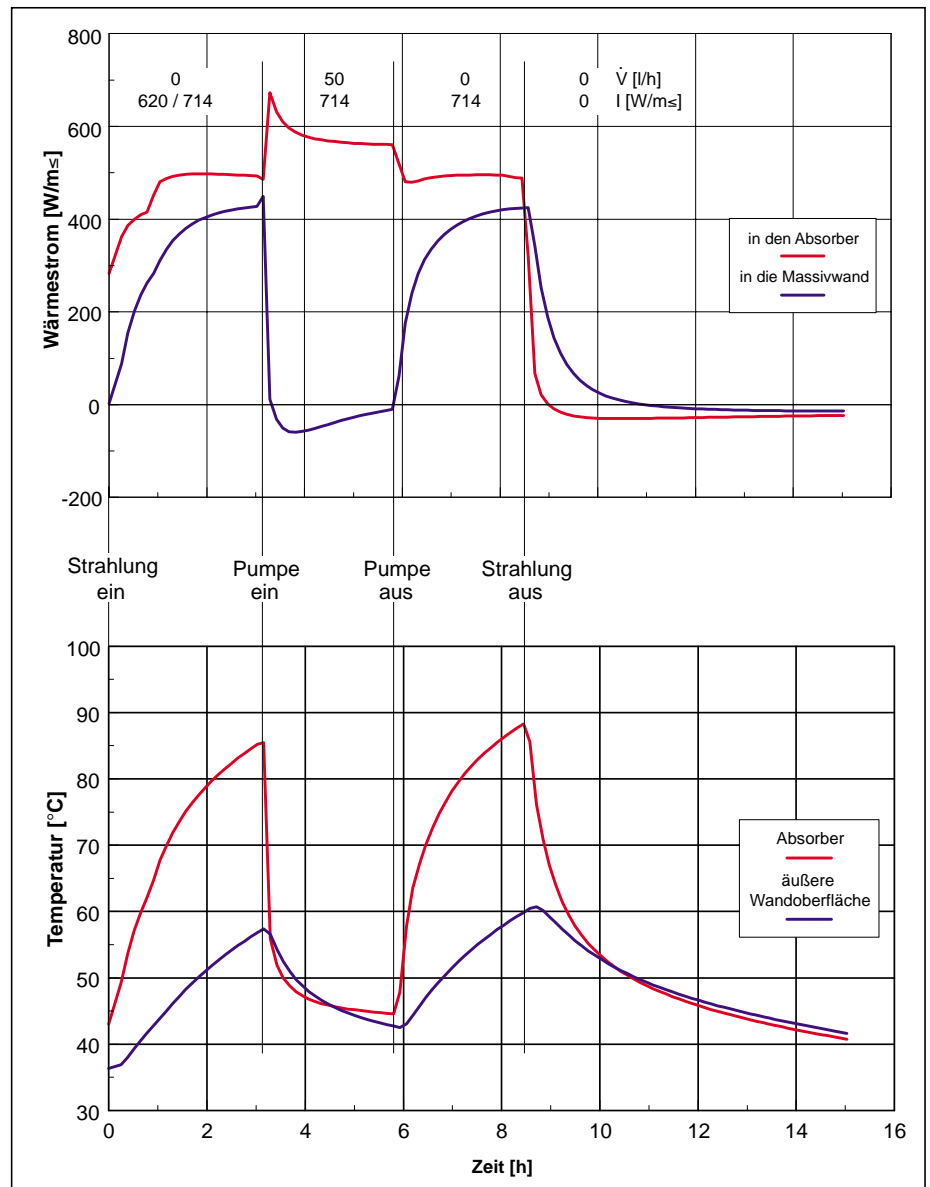
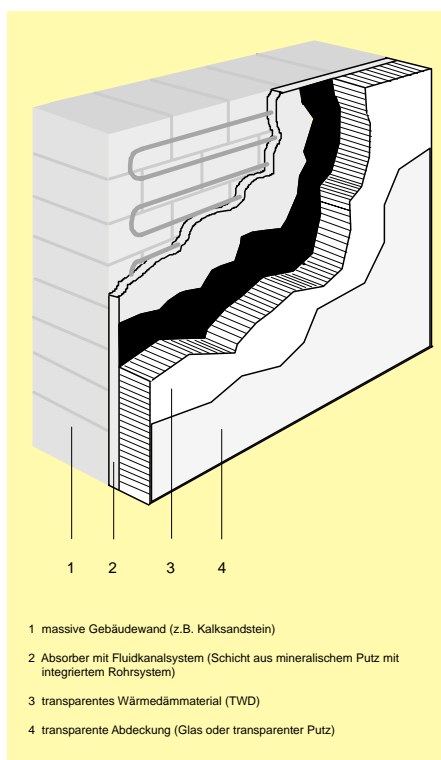


Abbildung 2: Gemessene Temperaturverläufe in der TWD-Hybridfassade bei einem Vergleich der Flüssigkeitskühlung des Absorbers mit der mechanischen Verschattung (durch Abschalten der Strahlung simuliert)

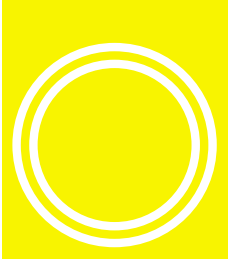
zung als auch der Betriebsparameter können damit schnell ermittelt werden.

Auf der Basis der Simulationsergebnisse wurde ein 1 m<sup>2</sup> großer Prototyp gebaut und in Labor- und Außenuntersuchungen bewertet. Das Ziel dieser experimentellen Untersuchungen war die Ermittlung thermischer und optischer Kenngrößen und die Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit der gewählten Konstruktion.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens erfolgt eine theoretische Untersuchung der zu erwartenden Energieausbeute der TWD-Hybridfassade. Hier-

zu wird auf der Basis der Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Voruntersuchungen ein vereinfachtes numerisches Modell entwickelt und in das Simulationsprogramm TRNSYS integriert. Damit kann das energetische Verhalten der TWD-Hybridfassade in einem Gebäude mit zugehörigem Heizwärme- und Warmwasserbedarfsprofil über einen längeren Zeitraum simuliert werden. Dieses Modell wird ebenfalls zur Analyse der Fassade in der Pilotanlage eingesetzt (Parameteridentifikation).

Im Rahmen des Pilotvorhabens wird die TWD-Hybridfassade mit einer Gesamtfläche von ca. 80 m<sup>2</sup> in einen Neubau mit 12 Wohneinheiten inte-



griert. Nach der Fertigstellung des Gebäudes wird das System über einen Zeitraum von zwei Jahren in Hinblick auf die aktiv- und passiv-solaren Gewinne intensiv meßtechnisch bewertet.

### 3. Fassadenintegrierte Flachkollektoren

Die Integration der Kollektorelemente Absorber und Glasscheibe in Gebäudefassaden unter Nutzung der vorhandenen Wandstruktur inkl. Wärmedämmung weist einige Vorteile und Besonderheiten auf. Diese im folgenden diskutierten Sonnenkollektoren sind direkt in die Gebäudehülle integriert, daher nicht hinterlüftet, also im Unterschied zu vor die Fassade gehängten Kollektormodulen ein thermisch nicht trennbarer Teil der Gebäudehülle (Abbildung 3).

Die wesentliche Aufgabe des Fassadenkollektors ist natürlich die des thermischen Flachkollektors, zusätzlich wird die konventionelle Wärmedämmung verbessert und die Funktionen als Witterungsschutz und Gestaltungselement übernommen. Nachteilig ist die Reduktion der jährlichen Strahlungssumme auf Südfassaden um ca. 30% im Vergleich zu optimal geneigten Süddachflächen. Eine Anwendungseinschränkung, die häufig für den Bestand im Einfamilienhausbau zutrifft, ist die ausreichende Verfügbarkeit freier, unverschatteter Südfassadenflächen.

Vorteilhaft wirkt sich das ausgeglichene Einstrahlungsprofil von Februar bis Oktober aus, das die Auslegung auf hohe solare Deckungsanteile ohne den sonst bei Dachaufstellung erfolgenden sommerlichen Stillstand der Kollektoren aufgrund der Überfüllung des Speichers vereinfacht. **Abbildung 4** zeigt den solaren Deckungsanteil, die Stillstandzeiten und die Kollektorkreiserausbeute eines in Hannover installierten Fassadenkollektors im Vergleich zu einem Dachkollektor [3]. Während bei geringem Deckungsanteil die Dachmontage aufgrund der höheren Einstrahlung eindeutig höhere Gewinne erbringt, nähern sich die Ausbeuten bei höheren Deckungsanteilen an. Während eine Deckungsanteilsteigerung bei Dachmontage zu hohen Stillstandzeiten im Sommer führt, weist der Fassadenkollektor

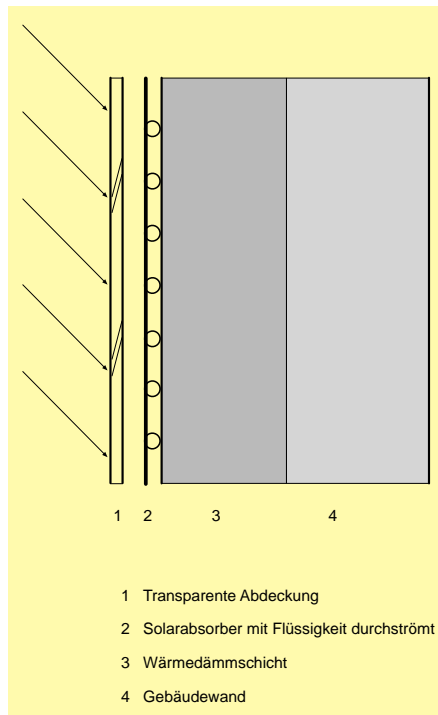


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Fassadenkollektors (ohne thermische Trennung vom Gebäude)

auch bei großer Kollektorfläche nur wenige Stillstandstunden auf, die zudem in den Übergangszeiten (hier im Oktober) auftreten. Damit ist die thermische Belastung durch Extrembedingungen bei der Fassaden-Solaranlage deutlich geringer als bei einer Dachanlage, was sich grundsätzlich günstig in Bezug auf die Lebensdauer und das Betriebsverhalten auswirkt. Die weiteren Vorteile wie reduzierte

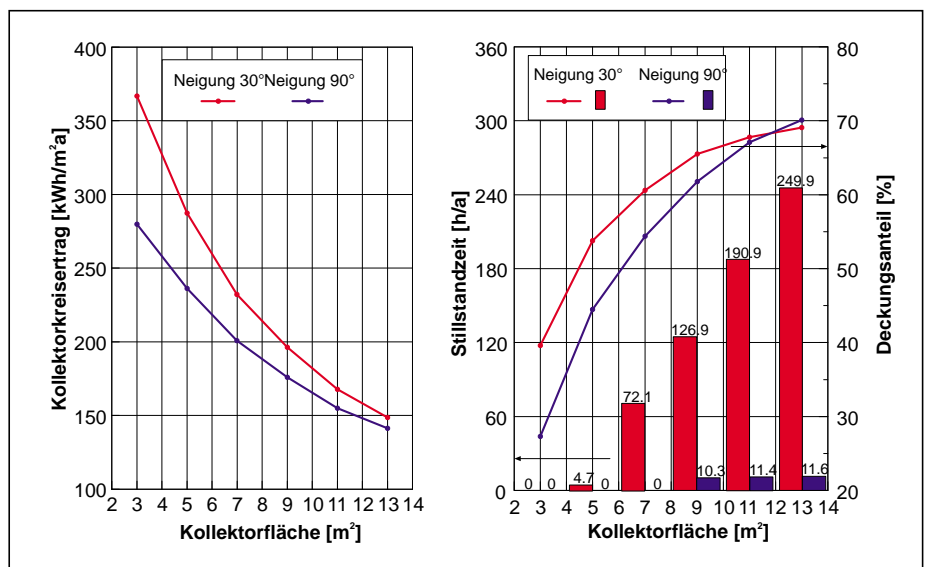
Verschmutzung und statt Schneebedeckung erhöhte Albedogewinne sind in den Simulationsrechnungen nicht berücksichtigt.

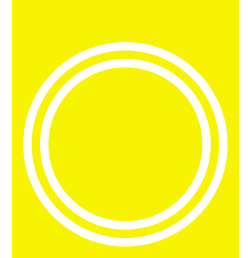
Die Integration der Kollektorkomponenten verbessert den k-Wert der Fassade, zusätzlich werden aufgrund der erhöhten Absorbertemperatur passive Gewinne erzielt. **Abbildung 5** zeigt die für eine Passivhausfassade gerechnete Verminderung der Transmissionsverluste gegenüber einer opaken Fassade (25 cm Dämmung). Die Reduktion der Transmissionsverluste beträgt in diesem Fall ca. 40 % gegenüber der opak gedämmten Fassade<sup>2</sup>. Die Sommergewinne sind in der Fassade so gering, daß Überhitzungsprobleme durch den Fassadenkollektor nicht zu erwarten sind.

Die direkte Fassadenintegration erfordert die Berücksichtigung von bauphysikalischen Aspekten, auch in Extremsituationen. **Abbildung 6** zeigt die maximale und minimale Absorbertemperatur für den Fall der ganzjährigen Nichtdurchströmung (Massivwand mit 25 cm Dämmung). Die höchste Stagnationstemperatur von ca. 180 °C ergibt sich in den Übergangszeiten; in den Sommermonaten erreicht der Absorber lediglich ca. 120 °C. Wichtig ist, daß die absorbernahe Dämmung

<sup>2</sup> Um gleiche Transmissionswärmeverluste bei der opak wärmegeämmten Wand zu erreichen, müßte diese mit einer Dämmstärke von ca. 40 cm ausgestattet werden.

Abbildung 4: Kollektorkreislertrag, Stillstandzeit und Deckungsanteil beim fassadenintegrierten Flachkollektor als Funktion der Kollektorfläche bei unterschiedlichen Neigungswinkeln (Wetterdaten Hannover, 1993, Jahresbedarf 1.700 kWh)





den hohen Temperaturen standhält. Das Gebäudeinnere wird auch durch lange Stagnationszeiten nur unwesentlich beeinflusst. Bei der Integration sind weiterhin Aspekte des Feuchte- transports und der Wärmebrücken zu berücksichtigen.

Durch Mehrfachnutzung der Bauteile Kollektorrahmen und Dämmung wird eine deutliche Senkung des Endverbraucherpreises erwartet. Prinzipiell kann diese Konstruktion in verschiedene Fassaden- und Wandsysteme integriert werden. Auf dem Markt sind Lösungen für Aluminium-Glas-Fassaden (Warmfassaden-Kassetten) vorhanden, die allerdings relativ kostenintensiv sind. Die erwartete deutliche Kostenreduktion sollte durch die Integration in Holz- ständerbauweise und Wärmedämmverbundsysteme (Wärmedämmverbund- kollektor) erreicht werden. Beide Techniken werden am ISFH verfolgt.

Für die geplante Integration in die Fassade eines Passivhauses in Misch- bauweise (Holzständerfassade mit Betonkern) wird vom Kollektorher- steller ein Endverbraucherpreis von 300 DM/m<sup>2</sup> für den installierten Kollektor abgeschätzt. Gegenüber markt- üblichen Kollektormodulen (Aufdach- Montage) ergibt sich eine Kostenre- duktion um mehr als 50 %. Dabei sind die vermiedenen bzw. verringerten Kosten der herkömmlichen Fassade noch nicht berücksichtigt. Trotz der niedrigeren solaren Bestrahlungs- summe, die für den gleichen Deckungs- anteil eine Vergrößerung der Kollektor- fläche um ca. 25 % erforderlich macht, führt die Reduktion der Kolle- torkosten auf einen um ca. 20 bis 30 % geringeren solaren Wärmepreis.

Fassadenkollektoren eröffnen durch die direkte Bauintegration ein neues Marktsegment für die thermische Solarenergienutzung, das durch die bisherigen dachintegrierten oder dachaufgebauten Kollektoren nicht abgedeckt wird. Aufgrund der optischen Bedeutung von Fassaden sind gestalterische Möglichkeiten und Vor- gaben zu berücksichtigen.

#### 4. Metalldächer und -fassaden als Solarabsorber

Dächer und Fassaden aus Metallform- platten können mit Hilfe des Elasto-

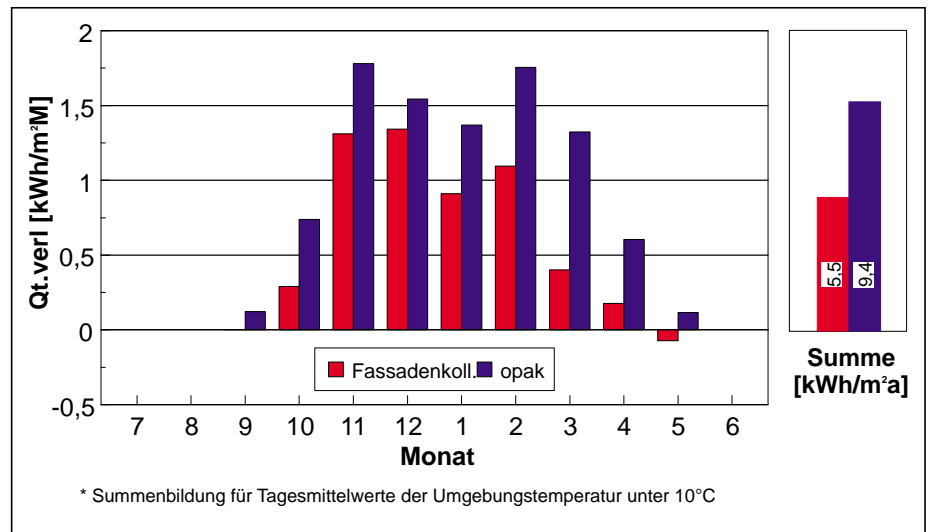
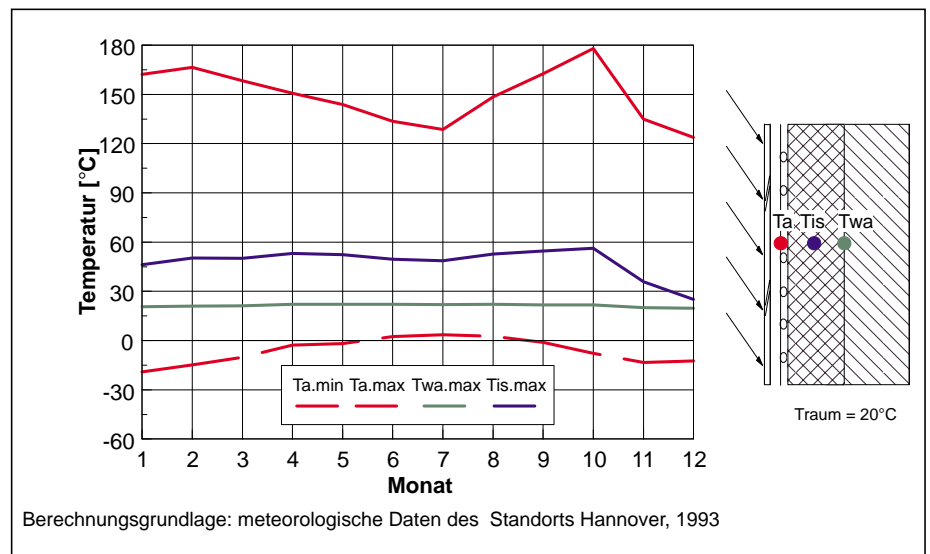


Abbildung 5: Monatliche Transmissionswärmeverluste eines fassadenintegrierten Flachkollektors und einer opak wärmegeprägten Wand (jeweils mit 25 cm Wärmedämmung)

Abbildung 6: Simulierter Jahresverlauf der minimalen und maximalen monatlichen Temperaturen im fassadenintegrierten Kollektor bei ganzjähriger Nichtdurchströmung

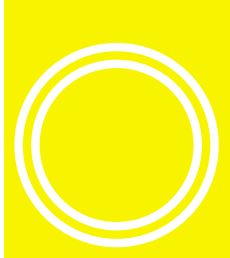


mer-Metall-Absorber-Prinzips in eine aktive thermische Solarkomponente umgewandelt werden. Das Konzept des Elastomer-Metall-Absorbers (EMA) besteht aus einem für die Absorption der Solarstrahlung beschichteten Metallblech, das ein Klemmprofil aufweist, in das ein Elastomerrohr eingelegt wird (Abbildung 7). Dieses Prinzip weist folgende Vorteile auf:

- Der Kollektor ist inhärent frostsicher, der Betrieb mit Wasser ist möglich.
- Meerwasser und andere korrosive Medien können direkt eingesetzt werden.

- Die vereinfachte Kollektorein- staltungs- und Systemtechnik läßt eine deutliche Kostenreduktion erwarten.

Das EMA-Prinzip ist einsetzbar in un- verglasten und verglasten Kollektoren mit sowohl selektiven als auch nicht- selektiven Absorbern. Grundsätzlich sind alle gängigen Metalle als Absor- berblech einsetzbar. Nachteilig für diese Kollektorkonstruktion ist die geringe thermische Leitfähigkeit von Elastomeren, die den Wärmetransport vom Absorber an das Fluid behindert. Weitere grundsätzliche Forderungen an das Elastomerrohr sind eine hohe mechanische Stabilität (Druckfestig-



keit) und Temperaturbeständigkeit, die unter den Belastungen in einem Sonnenkollektor nur einer geringen Alterung unterliegen dürfen. Als geeignete Materialgruppe wird EPDM ausgewählt. Da die Dauergebrauchstemperatur des Materials unter 150 °C liegt, sind Hochleistungsflachkollektoren mit dem EMA-Konzept nicht ohne besondere Überhitzungsschutzmaßnahmen realisierbar.

In einem ersten Entwicklungsschritt wurde gemeinsam mit der Fachhochschule Osnabrück Kollektor- und Materialentwicklung betrieben [4]. Dabei wurde die Wärmeleitfähigkeit des EPDM durch Zumischen von Graphit und Ruß von ca. 0,2 auf bis zu 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) erhöht. Gleichzeitig wurde die Druckfestigkeit um den Faktor 5 verbessert. Dabei wurde berücksichtigt, daß die Elastizität und Montierbarkeit nicht negativ beeinflusst wird und eine industrielle Schlauchfertigung möglich ist. Aus diesem Material wurden Schläuche hergestellt, die in EMA-Kollektoren eingesetzt und vermessen wurden. Es konnte gezeigt werden, daß durch den Einsatz des neuen Elastomers der thermische Leitwert zwischen Absorber und Fluid um den Faktor 3 von ca. 20 auf 60 W/(m<sup>2</sup>K) gesteigert wird, und somit den Wert für typische Standardkollektoren erreicht. Der daraus resultierende Konversionsfaktor stieg um 0,10 bis 0,14 an. Erste Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen (Stagnationstests, Einfrier-Auftau-Zyklen) haben ermutigende Ergebnisse gezeigt.

Die geplante zukünftige Anwendung des EMA-Konzepts liegt in der Integration von geeigneten Elastomer-Schläuchen in Dächern und Fassaden aus Metallformteilen. **Abbildung 8** zeigt die Entwicklungsschritte von einem Standard-Dachelement zu einem verglasten bzw. unverglasten Sonnenkollektor.

Anhand erster Abschätzungen wird erwartet, daß das EMA-Konzept im Vergleich zu herkömmlichen Solarabsorbern und Kollektoren zu einer Kostenersparnis von mindestens 50 % bei geringer Einbuße an thermischer Ausbeute führt. Dies wird erreicht durch konsequente Integration in vorhandene Metallfassadenelemente,

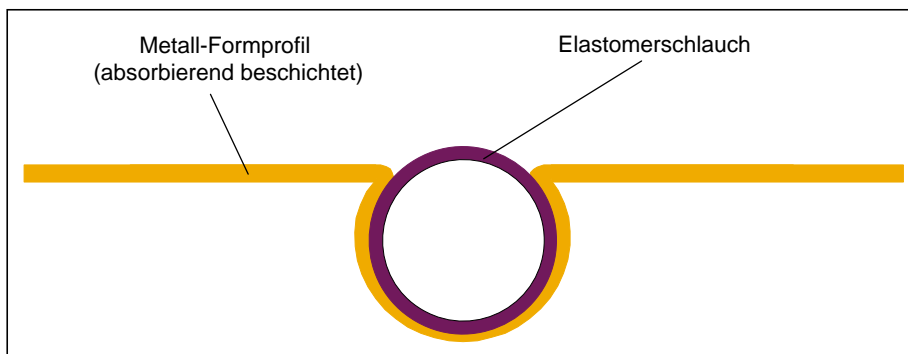
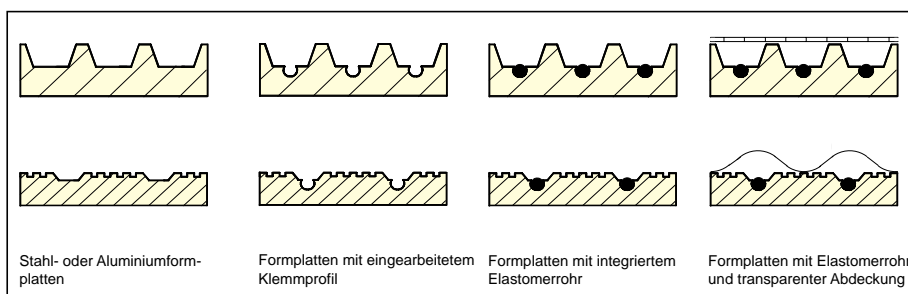


Abbildung 7: Schematischer Aufbau des Elastomer-Metall-Absorbers

Abbildung 8: Entwicklungsschritte vom Metaldach zum unverglasten bzw. verglasten Sonnenkollektor



die nur das EPDM-Rohr, Verteiler und Sammler sowie eine evtl. transparente Abdeckung als zusätzliche Elemente benötigt. Daher sinkt auch die energetische Amortisationszeit deutlich. Das optische Erscheinungsbild wird von der Metallformplatte bestimmt und somit als positiv eingeschätzt, es wird zumindest gegenüber Kunststoffabsorbern Vorteile aufweisen. Vorteilhaft ist weiterhin, daß sowohl ein neuer Kreis von installierenden Unternehmen (Fassadenbauer) als auch von Kunden (zumeist größere Gebäude, Industrie- und Sporthallen, Krankenhäuser und andere Zweckgebäude) angesprochen wird.

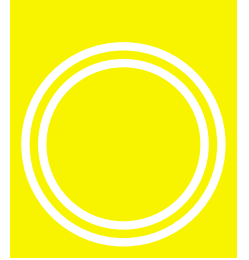
Um mit dem EMA-Konzept herkömmliche Metaldächer und -fassaden, von denen in Deutschland jährlich ca. 20 Mio. m<sup>2</sup> installiert werden, in Sonnenkollektoren umzuwandeln, sind weitere Entwicklungsarbeiten erforderlich. Diese haben als Ziel, ein langzeitstabiles Produkt unter fertigungs- und installationstechnischen Randbedingungen zu entwickeln und zu bewerten. Sie umfassen im einzelnen die Material- und Schlauchentwicklung in Zusammenarbeit mit der Kautschukindustrie sowie die Absorber- und Kollektorentwicklung in Kooperation mit der Metallindustrie und Solaranlagen-

firmen. Im Prototypenstadium sind energetische und qualitative Bewertungen vorzunehmen und besonders der Aspekt der Handhabbarkeit und Alterung zu berücksichtigen. Demonstrationsvorhaben sollten sich anschließen.

## 5. Dank

Das TWD-Hybridprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) gefördert und gemeinsam mit der STO AG, der Stadt Papenburg und der Fa. Ökotec GmbH durchgeführt. Das Fassadenkollektorprinzip wird im Auftrag der Fa. Rasch & Partner in Kooperation mit der Fa. Wagner und dem Passivhausinstitut mit Fördermitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt bearbeitet. Für die Vorarbeiten zur Entwicklung des Elastomer-Metall-Absorbers haben das ISFH und die Fachhochschule Osnabrück Fördermittel des Landes Niedersachsen (AGIP) erhalten. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung ihrer Arbeit.





## Literatur

- [1] H. Felten, S. Janßen, G. Rockendorf  
 „The Transparently Insulated Hybrid Wall with Integrated Absorber for Liquid Cooling“, Solar Energy 58 (1996)
- [2] S. Janßen, T. Claußen, K. Jahn, H. Klein  
 „Transparent wärmegeämmte Hybridfassade“, Tagungsband 6. Natl. Symp. Therm. Solarenergie (OTTI), Staffelstein (1996) 368-372
- [3] S. Janßen, G. Rockendorf  
 „Fassadenintegrierte Kollektoren zur Warmwasserbereitung in Passivhäusern“, 1. Passivhaustagung, Darmstadt (1996) 289-297
- [4] B. Bartelsen, G. Rockendorf, N. Venne-  
 mann  
 „Development of an Elastomer-Metal-Absorber for Solar Thermal Collectors“, Proc. EUROSUN '96, DGS-Sonnenenergie-Verlags GmbH, München (1996) 310-314

*An einem Sonnenhang in Ludesch/Walgau in Österreich wurde 1996 das Solarhaus Assmann-Aufschneider errichtet. Der Bedarf der zwei Wohnungen an Warmwasser und Raumwärme wird zu 90% beziehungsweise 70% durch zwei, zusammen 94 m<sup>2</sup> große, hinterlüftete Warmwasser-Fassadenkollektoren (89 m<sup>2</sup> Aperturfläche) gedeckt, die mit einem Speicher von 10.500 Liter für die Heizungsunterstützung und mit einem 800 Liter Speicher für die Warmwasserbereitstellung verbunden sind.*

