



SPF FORSCHUNGSAUFGABEN

C: MATERIALIEN & KOMPONENTEN IN SOLAR-THERMISCHEN SYSTEMEN

Jahresbericht 2007

Autor und Koautoren	S. Brunold, F. Flückiger, P. Gantenbein, A. Luzzi
Beauftragte Institution	Institut für Solartechnik SPF
Adresse	Hochschule für Technik HSR, Oberseestr. 10, 8640 Rapperswil
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 55 222 48 21, info@solarenergy.ch , www.solarenergy.ch
BFE Projekt-/Verfügungs-Nr.	43729 / 152652
BFE-Projektleiter	Jean-Christophe Hadorn
Dauer des Projekts (von – bis)	1.1.2007 – 31.12.2007
Datum	15.12.2007

ZUSAMMENFASSUNG

Das vom SPF eingeführte Zertifizierungsverfahren „Solarglas“ ist sehr erfolgreich. Es hat sich inzwischen sowohl bei einem grossen Teil der Kollektorhersteller als auch bei den Glaszulieferern als wichtiger Qualitätsnachweis etabliert.

Die Anzahl durchgeführter Kompensatorprüfungen ist enorm gestiegen. Tatsächlich war die Prüfanlage praktisch pausenlos ausgelastet. Im Gegensatz dazu ist die Nachfrage an Prüfungen für Lotpasten dieses Jahr auf Null zurückgegangen. Möglicherweise ist dies auf die stetige Zunahme an Laserschweissanlagen zurück zu führen.

Der IEA Task 32 wurde dieses Jahr erfolgreich abgeschlossen. Vorbereitungen für einen Nachfolge Task zum Thema Sorptionsspeicher sind im Gange. Die im Rahmen von Task 38 betriebene solare Kühlanlage zeigt noch deutliche Defizite bezüglich Gesamtwirkungsgrad. Verbesserungen an der Anlage und möglicher Austausch einzelner Komponenten sind geplant. Im Task 39 konzentrierte sich das SPF bisher vornehmlich auf die Definition der Anforderungen welche an Polymere im Einsatz bei Solaranlagen zu stellen sind.

Mit der Entwicklung eines neuartigen Solarabsorbers ist dem SPF ein grosser Schritt zur Realisierbarkeit eines Ganz-Aluminiumabsorbers gelungen. Ein entsprechendes EU Patent wurde eingereicht. Erste Gespräche mit möglichen Schweizer Herstellern wurden initiiert oder haben bereits statt gefunden.

Die 20-jährige Freibewitterung von Kollektorabdeckungsmaterialien wurde praktisch abgeschlossen. Ein entsprechender Bericht ist kurz vor der Fertigstellung.

Projektziele

C-1: PRÜFUNGEN UND BERATUNGEN, ROUTINEBETRIEB, UNTERHALT

- Ausführen von Fremdaufträgen in allen Fachbereichen: Alterungs- und Beständigkeitsuntersuchungen von Materialien, optische Charakterisierung mittels FTIR-Spektroskopie.
- Prüfung weiterer Gläser nach dem SPF Zertifizierungsverfahren für Solarglas.
- Ausgasungstests von im Kollektor verwendeten Materialien (insbesondere Wärmedämmung) unter Stagnationsbedingungen.
- Unterstützung von Kunden beim Design neuer Kollektoren und Komponenten.
- Verbesserung der Zuverlässigkeit der Klimaprüfschränke.
- Überprüfung diverser Möglichkeiten die Messabläufe am FTIR zu vereinfachen, zu verbessern und zu ergänzen.

C-2: IEA AKTIVITÄTEN

- Aktive Mitarbeit in den IEA SHC Tasks 32, 38 und 39.

C-3: MATERIALIEN ZUR LEISTUNGSSTEIGERUNG SOLARTHERMISCHER ANLAGEN

- Weiterführung der Freibewitterung von mit anti-Reflex beziehungsweise anti-Schmutz Schicht versehenen Kollektorgläsern.
- Auswertung der Messergebnisse der transparenten Kollektorabdeckungsmaterialien nach 20 Jahren Freibewitterung.
- Ausarbeitung eines neuen Absorberkonzeptes, welches die Realisierung eines Ganz-Aluminium-Absorbers ermöglicht.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

C-1: PRÜFUNGEN UND BERATUNGEN, ROUTINEBETRIEB, UNTERHALT

Das nach wie vor starke internationale Wachstum des Solarthermiemarktes ist an der Zahl der durchgeführten Messungen und Prüfungen zu spüren. Die Anzahl an Aufträgen aus Schweizer Unternehmen ist gegenüber den internationalen Aufträgen jedoch nur unterproportional.

Der intensive Einsatz der Laborgeräte und Prüfanlagen machte entsprechende Unterhaltsarbeiten nötig. Im Wesentlichen waren dies:

- Ersatz des Referenz-Lasers am FTIR und Reparatur der Elektronik.
- Update der an den Klimaschränken eingesetzten Prozessleitsoftware, wodurch das System endlich in einen zuverlässigen Zustand gebracht werden konnte.
- Totalrevision mehrerer Thermostatbäder (z.B. Austausch eingelaufener Lager der Umwälzvorrichtung).

Um das Angebot zu erweitern bzw. die Abläufe des bestehenden Angebotes an Messungen und Prüfungen zu Optimierung wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Planung einer zusätzlichen Integrierenden Kugel für Transmissionsmessungen am FTIR.
- Planung eines „Center Mount“ Zusatzes zur winkelabhängigen Absorptionsmessung.
- Überprüfung der Möglichkeit zur Direkteinspeisung der UV Lichtquelle in den Strahlengang des FTIR, um dadurch einen Messdurchgang einsparen zu können.

Eine Reihe von speziellen Untersuchungen wurde am SPF entwickelt und wird im Auftragsverhältnis der Industrie angeboten. Die wesentlichen Untersuchungen sind:

Optische Messungen von Kollektor - Materialien

Neben den zahlreichen Standardmessungen der solaren Transmission von Kollektorabdeckungsmaterialien und Absorption sowie Emission von Solarabsorbern, ist hier die „SPF Zertifizierung Solarglas“ besonders zu erwähnen.

Über 50 Prüfungen wurden dieses Jahr in Auftrag gegeben und in Angriff genommen. Jedoch nur für 30 Gläser (ca. 60%) konnte auch tatsächlich ein Zertifikat ausgestellt werden. Unter diesen 30 erfolgreichen Zulassungen waren 7 Gläser, welche wegen bereits abgelaufener Zertifikate (nach 3 Jahren) eine Neuzertifizierung nötig machten.

Es zeigt sich, dass viele Glashersteller aufgrund der zwecks Zertifizierung am SPF durchgeführten Messungen zusätzliche Optimierungen ihrer Produkte vornehmen (müssen). Auffallend viele Aufträge stammen wiederum – wie schon im letzten Jahr – aus China.

Beständigkeitsuntersuchungen

Insgesamt wurden an vier Absorberschichten Beschleunigte Alterungsuntersuchungen durchgeführt. Keine der vier Neuentwicklungen hat die Prüfung bestanden.

Untersuchung der Ausgasung von Kollektor - Materialien

Insgesamt 19 Ausgasungsprüfungen konnten in Angriff genommen werden. Allerdings haben nur 3 Produkte die Anforderungen auch erfüllt. Nach wie vor führen die verwendeten Zusatzstoffe (Färb- und Bindemittel, Klebstoffe, Deckschichten) zu unerwünschten Ausgasungseffekten (siehe Abbildung 1).

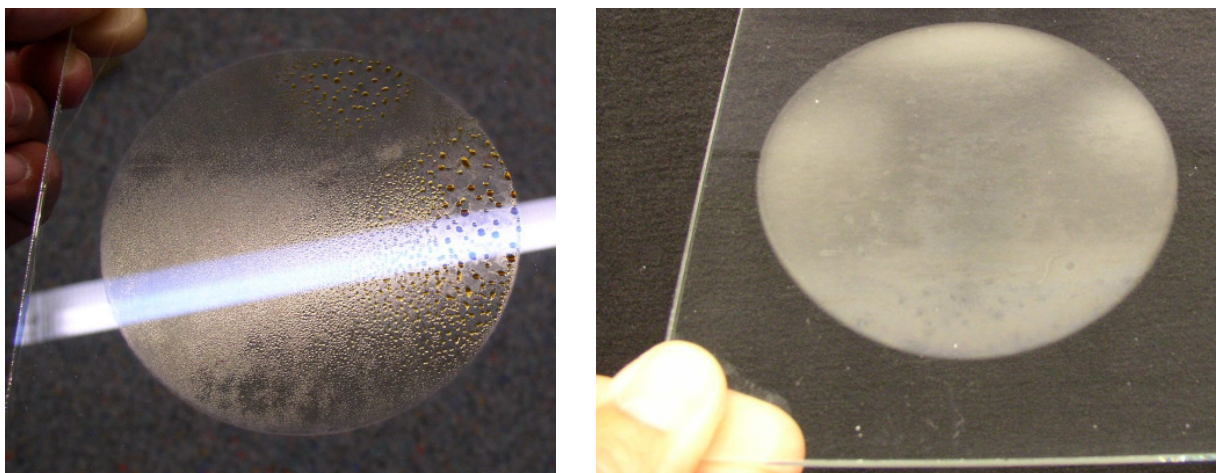


Abbildung 1: Beispiele von stark störenden Ausgasungen

Untersuchung von Lotpasten

Dieses Jahr wurden keine Lotpasten zur Prüfung eingereicht.

Kompensatorenprüfung

Ein beträchtlicher Teil der Kollektorkosten sind bei verschiedenen Herstellern die Anschlussteile. Aus diesem Grund konnten für verschiedene Anbieter die neue Produkte in diesem Bereich einführen möchten Prüfungen durchgeführt werden. Auch in diesem Bereich zeigt sich, dass eine Prüfung durchaus Sinn macht, da verschiedene der untersuchten Systeme die Prüfung nicht bestanden haben und deshalb im Feldbetrieb mit Problemen zu rechnen ist. Tatsächlich ist das SPF wahrscheinlich das einzige Institut das eine spezifische Zertifizierung von Kollektoranschlüssen anbietet und die Nachfrage ist im Moment entsprechend gross.

C-2: IEA AKTIVITÄTEN

Task 32B

In einem beim SPF aufgebauten Adsorptions-Speicher-System, mit granularer Festbett-Schüttung, ist nach einer Zeit von ca. 2 bis 10 Minuten die maximale Konzentration $c(T, p)$ von Wasserdampf am Sorbent-Pellet erreicht. Ein Adsorptionsspeicher mit granularer Festbett-Schüttung hat daher hinsichtlich der Leistung eine optimale Zykluszeit in diesem Zeitbereich.

Die Massentransferzone (MTZ) im Festbett steigt mit zunehmendem mittlerem Durchmesser der Sorbent-Pellets. Das heisst, dass die aktive an der Adsorption beteiligte Festbettlänge mit dem Pellet-Durchmesser steigt. Die maximale Leistung des Sorptionssystems steigt daher mit dem mittleren Durchmesser d_{sp} der Sorbent-Pellets. Eine Steigerung der Leistung wird aber auch mit Erhöhung des Wasserdampfdrucks $p(T)$ im System erreicht, da mit steigendem Druck die Dampfdichte steigt und mehr Sorbat zum Phasenübergang zur Verfügung steht. Beim Phasenübergang wird die Adsorptionssenthalpie Δh_A frei und heizt dadurch Sorbent und Sorbat auf. Die Wärme wird aus dem Sorptionsmodul abgeführt und genutzt.

Im Verdampfer muss Wärme zugeführt werden – die umgekehrt zur Kühlung genutzt werden kann. Bezogen auf die Anströmfläche des Dampfes auf das Festbett beträgt die Kühlleistung P_{cool} bei einem Wasserdampfdruck $p(T=25^\circ\text{C}) = 30\text{mbar}$ und einem mittleren Pellet-Durchmesser von $d_{sp}=2.63\text{ mm}$ $P_{cool}=33\text{ kW/m}^2$. Nachdem die Kühlleistung P_{cool} das Maximum erreicht hat sinkt sie linear in Funktion der Zeit t ab, weil der durch das Festbett strömende Wasserdampf einen Druckverlust Δp erfährt und der Druck $p(z)$ in Funktion des Ortes z abnimmt.

Die Geschwindigkeit u_c der Beladungsfront durch die Festbettschüttung steigt mit dem Durchmesser d_{sp} der Zeolith-Pellets und dem Druck $p(T)$ im Wassertank. Die höchste (tiefste) mittlere Geschwindigkeit $u_c=5.85\text{mm/s}$ ($u_c=0.27\text{ mm/s}$) wird in der Kugelschüttung mit $d_{sp}=2.63\text{ mm}$ ($d_{sp}=1.51\text{ mm}$) und einem Dampfdruck $p(T=25^\circ\text{C}) = 30\text{ mbar}$ ($p(T = 15^\circ\text{C}) = 16.3\text{ mbar}$) gemessen.

Die erreichten Resultate wurden an den IEA Task 32 Treffen im April und im Oktober 2007 in Stuttgart bzw. Zürich präsentiert.

Task 38

Am SPF wurde eine solarthermisch betriebene Kühlanlage aufgebaut und vermessen. Als Hochtemperaturquelle für die Absorptionskältemaschine dient das Sonnenkollektorfeld bestehend aus 30 m^2 Flachkollektoren [1]. Die thermische Solarenergie kann im Warmwassertank mit 970 l Volumen gespeichert werden. Das Herzstück des Kältesystems bildet die 10 kW LiBr- H_2O Absorptionskältemaschine. Das Kälteverteilsystem ist in Form von 80 m^2 Strahlungsdecken aufgebaut. Die gesamte Wärmeenergie wird über einen offenen Sprühkühlturm an die Umgebung abgegeben. Die installierte elektrische Leistung zum Betrieb der Pumpen beträgt 1.5 kW . Von der gesamten elektrischen Leistung P_{el} werden bei maximaler Leistungsaufnahme 90% von der Kältemaschine verbraucht. Die restlichen 10% teilen sich die Solaranlage und das Kälteverteilsystem.

In Abbildung 2 auf folgender Seite ist die Auswertung einer Messung dargestellt [2]. Die vom Sonnen-gang abhängige Wärmeenergie aus dem Kollektorfeld erreicht einen maximalen Wert von 16.5 kW im Zeitabschnitt zwischen 14:30 Uhr und 16 Uhr. Die Absorptionskältemaschine erreicht in der präsentierten Messung eine Leistung von $P_{cool} = 7.5\text{ kW}$ und einen thermischen Wirkungsgrad von bis $\text{COP}_{th} = 0.8$. Das Verhältnis von Kälteleistung P_{cool} zu eingesetzter maximaler elektrischer Leistung P_{el} beträgt $P_{cool}/P_{el} = 5$. Der gesamte Wirkungsgrad liegt im Bereich $\text{COP}_{th+el} = 0.68$.

In einer Diplomarbeit [3] wurden die Kosten zum Aufbau und Betrieb des mit thermischer Solarenergie betriebenen Pilot-Kühlsystems des SPF ermittelt und mit einer konventionellen, elektrisch betriebenen Kältemaschine gleicher Leistung ($P_{cool} = 10\text{ kW}$) verglichen. Mit einer Amortisationszeit von 15 Jahren und einem hohen Zinssatz im Bereich von 7% bis 10% belaufen sich die jährlichen Kosten der solar betriebenen Kältemaschine im Bereich von CHF $10'000.-$; die Kosten der konventionellen Kältemaschine betragen dagegen nur rund CHF $2000.-$ pro Jahr.

Im Rahmen einer Praktikumsarbeit [4] ist ein Mitteltemperatur-Solarkollektor zum Betrieb eines Campingkühlschranks gefertigt und an den Kühlschrank angeschlossen worden. Der Kühlschrank wird mit dem Arbeitsmedium Wasser (H_2O) und dem Kühlmittel Ammoniak (NH_3) betrieben. Die Wärmeenergie wird mit Temperatur beständigem Silikon-Öl Syltherm 800 aus dem Kollektor in den Wärmeüber-trager des Kühlschranks durch Selbstumwälzung (Thermosyphonsystem) übertragen. Eine Funktionskontrolle wurde durchgeführt und bei genügend Sonneneinstrahlung wurde eine Reduktion der Temperatur im Kühlschrank gemessen.

Die eigentliche Herausforderung war die Einkopplung der solaren Wärme über die nur spärlich vorhandenen Wärmeübertragungsflächen, da der Campingkühlschrank zum Betrieb mit einer Gasflamme oder einer AC (230 V) bzw. DC-Spannungsversorgung (12 V, Autobatterie) ausgelegt ist und jede Energiequelle eine eigene Wärmeeinkopplungsfläche in den Verdampfer hat. Bei Betrieb mit elektrischer Energie ist die Leistungsaufnahme $P_{el.} = 100 \text{ W}$.

Die Gasflamme und die Elektroheizung haben an den aussen liegenden Oberflächen der Wärmeübertrager Temperaturen von $T = 300 \text{ °C}$ (Gasflamme) und $T = 225 \text{ °C}$ (Elektroheizung) bewirkt. Da die Wärmeübertragungsflächen zum Verdampfer des Kühlschranks mit einigen cm^2 sehr klein sind, muss die Leistung mit entsprechend hohen Temperaturen erzielt werden. Um mit Sonnenstrahlung hohe Temperaturen zu erreichen wurde mit einem parabolischen Reflektor das Sonnenlicht auf ein Vakuumabsorberrohr konzentriert.

Die Oberflächentemperaturen an den Rohrleitungsverbindungen wurden gemessen. Bei $T = 260 \text{ °C}$ am Kollektorausstritt ist am Kühlschrinkeintritt mit $T = 240 \text{ °C}$ das nötige Temperaturniveau erreicht worden. Am Kühlelement des Kühlschranks ist nach einiger Zeit eine Oberflächentemperatur von $T = -1.3 \text{ °C}$ gemessen worden.

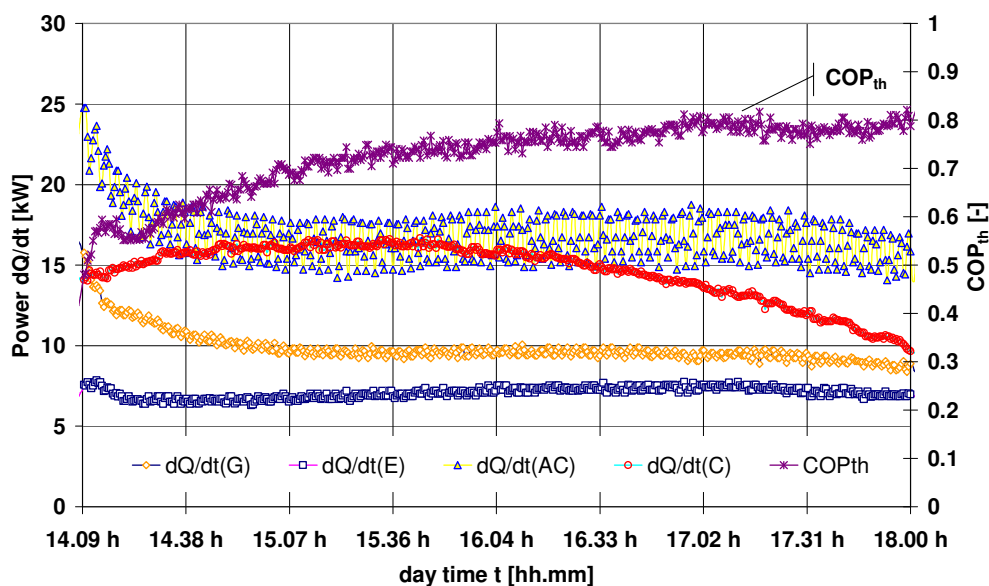


Abbildung 2: Leistungen der Solaranlage $dQ/dt(C)$, des Generators $dQ/dt(G)$, des Verdampfers $dQ/dt(E)$ und des Kühlturmes $dQ/dt(AC)$ sowie der thermischer Wirkungsgrad COP_{th} in Funktion der Tageszeit t . Die Leistung des Kühlturmes schwankt stark mit $\pm 1.5 \text{ kW}$ um den Wert von 16.5 kW . Der thermische Wirkungsgrad der Kältemaschine steigt gegen Ende des Tages auf nahezu $COP_{th} = 0.8$ an.

Zur Vorbereitung eines Kühlmoduls zur Polysun Software wurde eine allgemeine Wärmesenke bzw. Wärmequelle entwickelt.

Task 39

Der wachsende Markt für solarthermische Anlagen ermöglicht den Einsatz von Polymermaterialien, die durch kostengünstige Massenproduktion ein großes Kosteneinsparpotential aufweisen. Sie sind allerdings nur einsetzbar, wenn ihre Gebrauchsdauer und Leistungsfähigkeit vergleichbar mit konventionellen Produkten ist.

Zu diesem komplexen Themenbereich wurde die Task 39 des Solar Heating and Cooling Programms der Internationalen Energieagentur konzipiert, welche in die drei Subtasks „A – Information“, „B – Collectors“ und „C – Materials“ gegliedert ist.

Wie Eingangs erwähnt, sollte die Leistungsfähigkeit eines Polymerkollektors vergleichbar mit der eines konventionellen Kollektors sein. Dies führt jedoch, im Falle der Stagnation, zwangsläufig zu Absorbertemperaturen von etwa 200 °C . Soll ein Polymerkollektor auch Zeiten der Stagnation schadlos überstehen, müssen also teure Hochleistungspolymere eingesetzt werden. Eine Alternative dazu wäre der Einsatz eines Überhitzungsschutzes, wodurch wiederum auf preisgünstigere Massenpolymere

—	xxx00705000L
thermotropes Polymer	
Temp. = 20 °C	
$\tau_S = 0.791$	$\tau_L = 0.861$
—	xxx00705010L
thermotropes Polymer	
Temp. = ca. 80 °C	
$\tau_S = 0.483$	$\tau_L = 0.493$

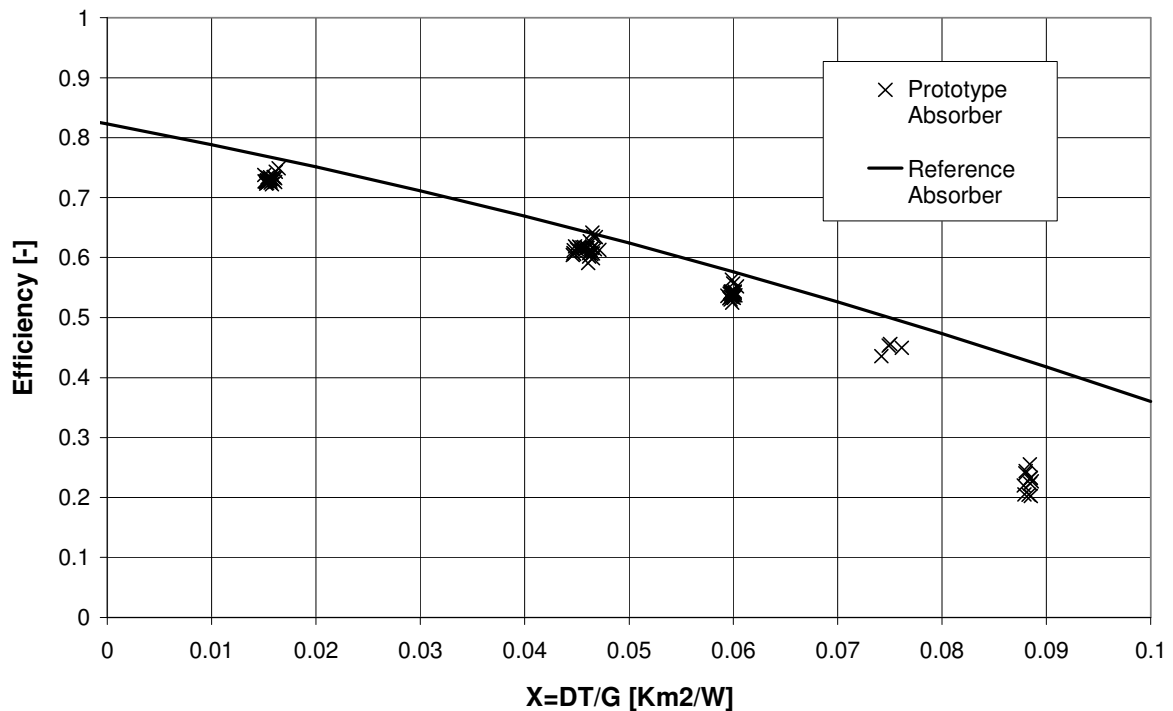


Abbildung 4: Wirkungsgradvergleich eines Kollektors mit dem neuen Absorber (Prototype) und einem direkt durchströmten Absorber (Reference). Sehr schön zu sehen ist der deutliche Leistungsabfall ab einer bestimmten (einstellbaren) Maximaltemperatur (hier bei $x = 0.08 \text{ Km}^2/\text{W}$).

Thermochrome Absorberschichten

Thermochrome Absorberschichten verändern („schalten“) ihre optischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Absorbertemperatur. Dadurch bieten diese die Möglichkeit, die im Kollektor verwendeten Materialien sowie den verwendeten Wärmeträger vor übermässig hohen Temperaturen, wie diese z.B. im Falle der Stagnation auftreten, zu schützen. Die Ergebnisse dieser Studie sind in einem separaten Bericht detailliert dargestellt [5].

Es zeigt sich, dass für einen Schutz des Wärmeträgers, also Stagnationstemperaturen unter etwa 160°C , ein Schalten des Emissionsgrades von 0.05 auf Werte von 0.25 – 0.35 genügt. Es wird weiter gezeigt, dass Wärmeträgerschutz auch mit anderen, z.B. systemtechnischen, Massnahmen erzielt werden kann, ohne deutliche Mehrkosten zu verursachen. Da diese Massnahmen in der Praxis jedoch nur wenig angewendet werden, scheint es fraglich, ob eine thermochrome Schicht (mit den zu erwartenden Mehrkosten) als Wärmeträgerschutz allein überhaupt Marktchancen hätte.

Ein deutlich weiter reichender Schutz würde eine Begrenzung der Temperatur auf Werte um 100°C bieten. Dadurch wäre der Einsatz von preisgünstigeren oder auch leistungsfähigeren Materialien im Kollektorbau möglich. Dies stellt jedoch deutlich höhere Anforderungen an eine thermochrome Absorberschicht. Ein schalten des Emissionsgrades allein reicht in diesem Falle nicht mehr aus. Vielmehr muss diese Schicht den Absorptionsgrad von 0.95 auf Werte um 0.30 (bei unverändert niedrigem Emissionsgrad von 0.05) bzw. auf etwa 0.60 (bei gleichzeitiger Erhöhung des Emissionsgrades auf 0.95) verändern.

Die Ergebnisse werden 2008 am 18. Symposium Thermische Solarenergie (OTTI) präsentiert.

Nationale Zusammenarbeit

Neben den Prüfaufträgen werden auch gemeinsame Projekte mit mehreren Schweizer Firmen durchgeführt, die wir aus Vertraulichkeitsgründen nicht namentlich nennen können.

Internationale Zusammenarbeit

Insbesondere im Rahmen der IEA Tasks findet ein reger Daten- und Informationsaustausch mit ausländischen Forschungseinrichtungen aber auch der Industrie statt.

Mit in der Solarthermie etablierten Instituten wie ISE (Deutschland) und SP (Schweden) pflegt das SPF auch ausserhalb der oben genannten Projekte eine rege Zusammenarbeit.

Bewertung 2007 und Ausblick 2008

Messungen im Auftragsverhältnis

Die Anzahl der Messaufträge, insbesondere für die „SPF Zertifizierung Solarglas“, hat weiter deutlich zugenommen. Auffallend sind die zahlreichen Messaufträge für Gläser aus China.

Unterhalt der Anlagen und Anlagenerweiterung

Nach dem Update der Software sind die Klimaschränke nun wieder in einem zuverlässigen Zustand. Um Prüfabläufe zu optimieren, sollen folgende Änderungen bzw. Erweiterungen vorgenommen werden:

- In Betriebnahme eines neuen Rohrofens z.B. zur Prüfung von Solarabsorberschichten für höhere Temperaturen.
- Erweiterung des FTIR Spektrometers um eine Integrierende Kugel speziell für Transmissionsmessungen.
- Erweiterung des FTIR durch eine „Center Mounted Sphere“ zur Winkelabhängigen Absorptionsmessungen.
- Überarbeitung der Prozedur „Beschleunigte Alterungsprüfungen an Solarabsorberschichten“.

IEA

Ein Arbeitsschwerpunkt des SPF in dem inzwischen abgeschlossenen Task 32 behandelte Sorptionsspeicher. Aus diesen Arbeiten konnten wertvolle Erkenntnisse gezogen werden. Es ist beabsichtigt, nun die Entwicklung auf diesem Gebiet an einem neu vom Niederländischen ECN definierten IEA Task zu Sorptionsspeichern bzw. den Sorptionsmaterialien zu verfolgen und daran auch teilzunehmen.

Im Rahmen des Task 38 wird die vorhandene solare Kühlanlage weiter untersucht und optimiert. Der thermische Wirkungsgrad liegt mit $COP_{th} = 0.8$ zwar im Bereich des Maximums, der gesamte Wirkungsgrad COP_{th+el} muss jedoch verbessert werden, da theoretisch ein $P_{cool} / P_{el} = 6$ bis 7 erreicht werden kann. Das Problem der Leistungsschwankungen und der Verkalkung des Kühlturmkreislaufes kann gelöst werden. Dies wird in Absprache mit dem Lieferanten der Kältemaschinen und dem Kühlturm geschehen, da die Regelung & Steuerung der Absorptionskältemaschine zu verbessern ist, bzw. die Regelung an die hiesigen Bedingungen anzupassen ist. Die Verkalkung des Kühlturmkreislaufes wird entweder durch den Einsatz von Osmosewasser oder durch einen Trockenkühlturm verhindert. Weitere Systemvarianten sollen vermessen werden. Die Arbeiten am Kühlmodul zur Polysun Software werden weitergeführt.

Im Task 39 wird sich das SPF vornehmlich noch um die Definition der Anforderungen, die an Polymere zum Einsatz in Solaranlagen zu stellen sind, sowie deren Leistungsprüfung kümmern.

Materialien zur Leistungssteigerung thermischer Solaranlagen

Die Auswertung der Ergebnisse aus der 20-jährigen Freibewitterung von Kollektorabdeckungsmaterialien soll abgeschlossen und ein BFE Bericht erstellt werden. Die Ergebnisse sollen für den Task 39 aufbereitet werden. Publikationen im Rahmen der Eurosun 2008 sowie im „Solar Energy Materials and Solar Cells“ sind geplant.

Der zum Patent angemeldete neuartige Solarabsorber soll mit einem Schweizer Hersteller zu einem Wettbewerbsfähigen Produkt umgesetzt werden.

Referenzen

- [1] Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings - A Handbook for Planners.; Hans-Martin Henning (Ed.), Springer 2004 ISBN 3-211-00647-8.

- [2] Performance analysis and simulation of a 10 kWR STAC demonstration system. Paul Gantenbein, Heinz Marty, Andreas Luzzi. OTTI 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, October 18th-19th, 2007.
- [3] Solarthermische Kühlanlage: Analyse und Optimierung. Urs Schäfer, Diplomarbeit HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2006.
- [4] Solares Kühlen. Xavier Daguenet-Frick, Praktikumsbericht 2007, INSA Lyon Frankreich.
- [5] S. Brunold, P. Vogelsanger, H.Marty: Beurteilung der Möglichkeiten von thermochromen Schichten als potenzielle Überhitzungsschutzmassnahme für solarthermische Kollektoren