

**Jahresbericht 2002, 27. November 2002**

- A: Komponenten in solarthermischen Systemen
- B: thermische Solarsysteme
- C: Materialien in thermischen Systemen
- D: Informatik und Software

Zu jedem Thema A – D wird ein separater Jahresbericht erstellt.

Die Projekt Nummerierung korrespondiert, soweit vom BFE finanziert, mit den Budgetposten des Projektantrags.

## **SPF Forschungsaufgaben im Bereich Aktive Sonnenenergie**

### **C: Materialien in thermischen Systemen**

Autor und Koautoren	Stefan Brunold, Ueli Frei
beauftragte Institution	Institut für Solartechnik SPF
Adresse	Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil
Telefon, E-mail, Internetadresse	055 222 48 21, spf@solarenergy.ch, www.solarenergy.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	DIS 20732
Dauer des Projekts (von – bis)	01. Januar 2002 – 31. Dezember 2002

#### **ZUSAMMENFASSUNG**

Für den Abschlussbericht der beendeten IEA-MSTC Arbeitsgruppe wurden sämtliche Beiträge dem Editor übergeben, welcher beabsichtigt seine Arbeit noch dieses Jahr ab zu schliessen. Damit könnte das „MSTC Buch“ bereits nächstes Jahr erscheinen. Die Arbeiten im IEA Task 27 gehen grösstenteils planmässig voran. Aufgrund von Verzögerungen in einzelnen Projekten, insbesondere wegen der Verfügbarkeit von Proben, wird eine Verlängerung des Tasks um 1 – 2 Jahre angestrebt.

Neben den Prüfaufträgen aus der Privatwirtschaft im Bereich der optischen Messungen und Beständigkeitsuntersuchungen (Solarabsorberschichten, Kollektorverbindungen, Tests von Kollektorkomponenten auf Beständigkeit gegenüber Kondensation, Ausgasungsuntersuchungen, Weichlotpasten etc.) wurde auch eine umfangreiche Optimierung eines neuen Vakuumröhrenkollektors im Kundenauftrag durchgeführt. Eine neue Prüfeinrichtung zur thermischen Belastung ganzer Absorber bis zu einer Fläche von 1 x 2 m<sup>2</sup> und Temperaturen bis etwa 300°C wurde aufgebaut und in Betrieb genommen.

Die Klimaschränke wurden mit neuen Kältemaschinen und neuer Regelelektronik ausgestattet und sind wieder in Betrieb. Ebenso wurde das bestehende FTIR durch ein neues ersetzt und die existierende Sonderausstattung (integrierende Kugeln, stärkere Quellen, UV Quelle) daran angepasst. Durch einen kleinen Umbau kann das alte FTIR jetzt für direkt – direkte Transmissions- und Reflexionsmessungen im FIR (bis etwa 100µm) benützt werden.

Das Zertifizierungsverfahren „Solarglas“ wurde fertig ausgearbeitet und auf zwei Fachveranstaltungen vorgestellt. Es stiess sowohl bei den Vertretern der Glasbranche als auch bei Kollektorherstellern auf grosses Interesse. Ein Glas wurde bereits zertifiziert und konnte erfreulicherweise in die beste Gruppe der nicht beschichteten Solargläser eingeordnet werden.



## Projektziele

### IEA – MSTC und IEA – Task 27

- MSTC: Die Beiträge für das geplante Buch sollen fertiggestellt und dem Editor übergeben werden.
- Task 27: Monitoring der Freibewitterungsproben und Weiterführung von Indoortests. Die in Subtask B1 ausgearbeitete „General methodology of accelerated life testing for assessment of service life of materials“ soll auf die in Subtask B definierten „Case Studies“ angewendet werden.

### Messungen im Auftragsverhältnis

- Ausführen von Fremdaufträgen in allen Fachbereichen: Alterungsuntersuchungen von Materialien, optische Charakterisierung mittels FTIR-Spektroskopie; diese Arbeiten sollten durch die Umrüstung im Bereich der Spektroskopie und der Umweltsimulationsanlagen möglichst wenig behindert werden.
- Zertifizierung von Solargläsern.
- Bestimmung des Winkelfaktors transparenter Abdeckungsmaterialien.
- Unterstützung von Kunden beim Design neuer Kollektoren.

### Materialien zur Leistungssteigerung thermischer Solaranlagen

- Beobachtung der auf dem Freibewitterungsstand exponierten und mit einer anti – Reflex bzw. anti – Schmutz Schicht versehenen Kollektorgläser. Gegebenenfalls werden neue Schichten dazu kommen. Parallel zur Aussenbewitterung sollen Belastungstests im Labor durchgeführt werden.

### Unterhalt der Anlagen und Anlagenerweiterung

- Ersatz des bestehenden FTIR durch ein neues Spektrometer. Das alte FTIR sollte so lange wie möglich für Sondermessungen einsatzbereit gehalten werden.
- Umbau und Wiederinbetriebnahme der Klimaschränke. Einarbeitung in die neue Mess- und Prozessleitsoftware.
- Nachdem erkannt wurde, dass der für Absorbentests aufgebaute Vakuumofen nur schwer regelbar ist, soll dieser entsprechend modifiziert werden.
- Aufbau eines Solarsimulators zur beschleunigten Qualitätsprüfung von Kollektoren (im Sinne einer Vorausscheidung), sowie zum Experimentieren mit neuen Kollektorkreisläufen.
- Aufbau eines Prüfstandes zur thermischen Belastung von Absorbern in voller Kollektorgröße.

### Zertifizierung Solarglas

- Vervollständigung des Zertifizierungsverfahrens Solarglas und Einführung auf dem Markt durch entsprechende Beiträge an Fachveranstaltungen. Beginn der Zertifizierung von Gläsern.

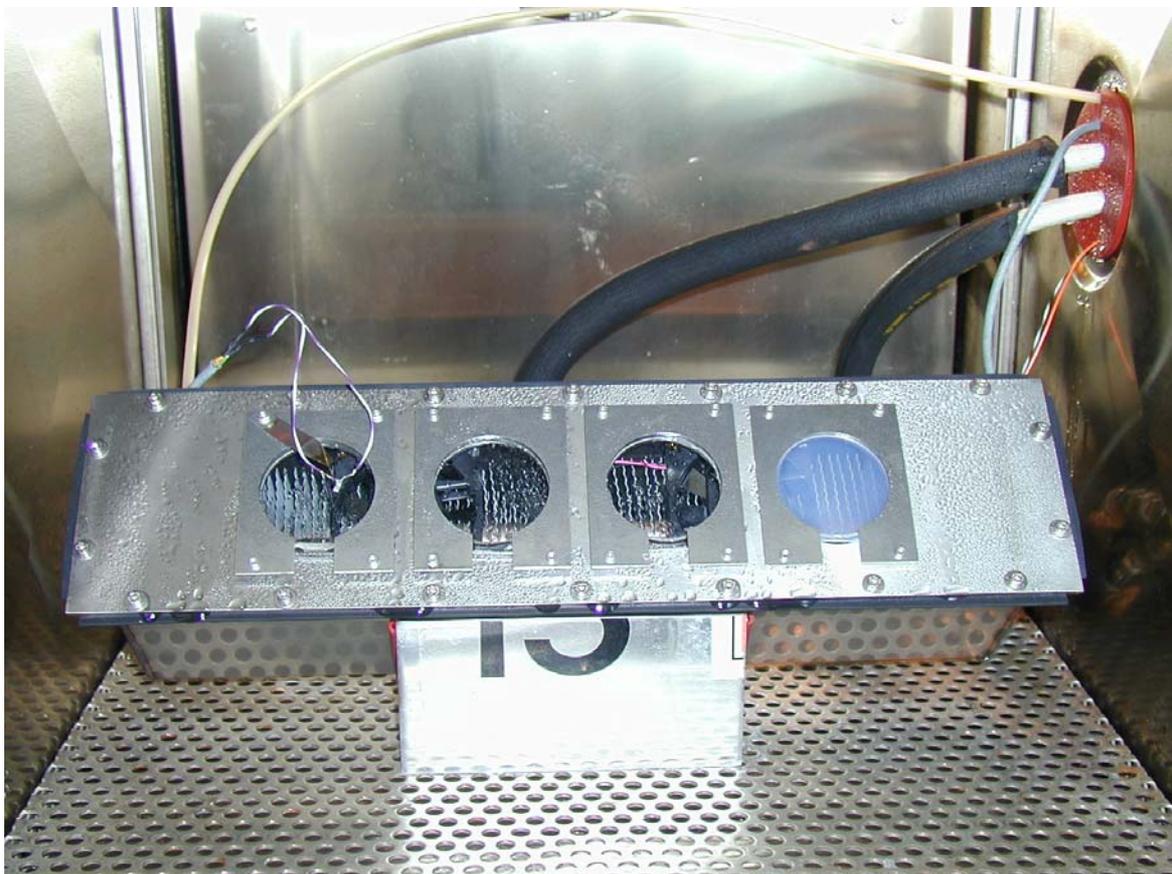
## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### IEA – MSTC und IEA – Task 27

Der Abschlussbericht des Projektes **MSTC** soll als Buch realisiert werden. Es wird den Titel „Performance and Durability Assessment of Optical Materials for Solar Thermal Systems“ tragen und soll im Verlag *Elsevier Science (NL)* verlegt werden. Das SPF hat 4 Kapitel des Buches geschrieben und fristgerecht dem Editor übergeben.

Im **Task 27** ist das SPF hauptsächlich in Subtask B („Durability“) aktiv. Insbesondere sind wir „Case Study Leader“ des Bereichs „Solar Facade Absorbers“ innerhalb von Projekt B3 „Durability and Reliability Assessment of Static Solar Materials“. Weitere „Case Studies“ in B3 sind „Anti-Reflective and Polymeric Glazings“ sowie „Solar Reflectors“. In allen 3 Bereichen ist die Exposition von Proben auf Freibewitterungsständen am laufen und es wurden zahlreiche Belastungstests im Labor durchgeführt.

Um mit Abdeckungsproben Kondensationsprüfungen durchführen zu können, wurde von uns eine spezielle Vorrichtung entwickelt und aufgebaut. Für diese Prüfung muss die Probentemperatur 5 K unter Umgebungstemperatur gehalten werden um permanente Kondensation auf der Probenoberfläche zu erzielen (Umgebungsfeuchte 95%). Da die Transmission der Probe die entscheidende Grösse ist, kann diese selbstverständlich nicht (in Analogie zu den Absorberprüfungen) mit Wärmeleitpaste auf einen gekühlten Probenhalter fixiert werden. Daher haben wir einen speziellen Probenhalter in Form einer Box aufgebaut, bei dem die Proben von hinten mit kalter Luft gekühlt werden (siehe Fig. 1). Mini-Lüfter saugen dazu die Luft in der Box durch einen Wärmetauscher und blasen diese dann an die Probenrückseite. Der Wärmetauscher wird von einem Kältethermostaten gespeist.



**Fig. 1:** Probenhalter für Kondensationsprüfung an transparenten Materialien. Probe links mit Oberflächen temperaturfühler zur Temperaturregelung. Probe rechts (PVC) zeigt bereits deutliche Degradation.

## Messungen im Auftragsverhältnis

Trotz des Austausches des FTIR konnten die zahlreichen Absorber- und Abdeckungsmessungen beinahe ungestört bewerkstelligt werden. Ebenso wurden zahlreiche Messungen auf unserem IAM Messplatz durchgeführt. Beschleunigte Alterungsuntersuchungen an einer neuen Solarabsorberschicht eines unserer Kunden konnten noch Anfang des Jahres erfolgreich abgeschlossen werden.

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

### *Kollektordesign*

Mit Hilfe eines nicht-sequentiell arbeitenden Raytrace Programms wurde das Design eines Vakuumröhrenkollektors (Typ Dewar) mit Reflektor optimiert. Dabei musste, neben den Randbedingungen des Auftraggebers, auch das thermische Verhalten der Röhren durch Simulationsrechnungen berücksichtigt werden. Da bei den zu verwendenden Materialien sowohl der optische Wirkungsgrad als auch die thermischen Verluste (sowie die Herstellungskosten) mit der Anzahl der Röhren steigt, galt es hier ein Optimum zu finden.

### *Verbindungstechnik Rohr - Absorberblech*

Seit geraumer Zeit sind im Bereich der Verbindungstechnik zwischen Rohr und Absorberblech gesteigerte Aktivitäten zu beobachten. Einerseits kommen unterschiedlichste Techniken, wie etwa Klemmen, Löten, Schweißen und Kleben zum Einsatz. Andererseits wird seit der Einführung einer neuen Absorberschicht auf Aluminium wieder vermehrt mit der Verbindung zwischen Kupfer- bzw. Messingrohr und dem Leichtmetallblech experimentiert.

Da die im realen Betrieb aufgrund der Wärme entstehenden Spannungen zwischen den einzelnen Komponenten ganz entscheidend von der Grösse des Absorbers abhängen, wurde ein Prüfstand aufgebaut, der es ermöglicht, Absorber bis zu einer Grösse von etwa  $1 \times 2 \text{ m}^2$  thermisch bis etwa  $300^\circ\text{C}$  zu belasten.

Prüfungen an gelöteten und geklebten Verbindungen wurden bereits durchgeführt.

### *Kompensatoren, Kollektorverbindungen*

Die Testanlage stand praktisch ohne Unterbruch für die Entwicklung und die Untersuchung neuer Kompensatoren und Kollektorverbindungen im Einsatz. Die Belastungen durch hohe Temperatur und Temperaturzyklen setzen nicht nur den Prüflingen zu sondern auch den in der Anlage eingesetzten Pumpen und Ventile. Im laufenden Jahr mussten deshalb die Umwälzpumpen (Maag-Zahnradpumpen) und die pneumatisch angetriebenen Schrägsitzventile ersetzt werden.

Die Erfolgsquote der durchgeführten Prüfungen war eher bescheiden. Erwähnenswert ist die umfangreiche Untersuchung unterschiedlicher Dichtungstechniken für den Einsatz in einem Röhrenkollektor. Trotz Empfehlungen von Spezialisten haben diverse Dichtstoffe die vorgängig spezifizierten Anforderungen nicht erfüllt. Dank den durchgeführten Untersuchungen konnten geeignete Lösungen evaluiert und Schäden im Felde verhindert werden.

### *Kondensationstests (Beschreibung Zweck und Funktion siehe Jahresbericht 2001)*

Die Kondensationstestanlage wurde für die Untersuchung von 2 Verbindungsarten eingesetzt. In beiden Fällen ging es um die Stabilität der eingesetzten O-Ringe. Die Prüfungen konnten mit positivem Resultat abgeschlossen werden.

### *Untersuchung der Ausgasung von Wärmedämmungen*

Die Testanlage wurde mit dem Ziel optimiert, die realen Einsatzbedingungen in einem abgedeckten Flachkollektor besser nachzubilden.

Die 4 Prüfeinrichtungen waren durch Industrieaufträge ausgelastet. Neben Untersuchungen für eine Schweizer Firma konnten Versuche für massgebende ausländische Hersteller durchgeführt werden. Die Resultate der erfolgreich geprüften Produkte sind im Internet verfügbar.

### *Pysikalische Wasserbehandlung*

Die Testanlage für Geräte zur Reduktion der Kalkausscheidung an Plattenwärmetauschern war weiterhin in Betrieb. Die Untersuchung weiterer handelsüblicher Geräte war sehr ernüchternd. Keines der Geräte konnte den in der Werbung und in den Prospekten beschriebenen Effekt demonstrieren. Das einzige positive Resultat bleibt demnach das im letzten Jahr untersuchte Gerät. Dieses wird nun von einzelnen Schweizer Firmen in deren Anlagen integriert.

#### *Untersuchung von Lötpasten*

Vollflächige Solarabsorber in thermischen Flachkollektoren sind im Trend. Mit dem heute üblichen Absorbermaterial Kupfer ist die Herstellung von „Kissenabsorberrn“ nicht sinnvoll.

Eine einfache Lösungsmöglichkeit für die Herstellung von Flächenabsorberrn ist der Einsatz von Weichlot für die thermische Verbindung von flüssigkeitsführenden Rohren mit dem bereits vorgängig beschichteten Kupferband.

Im laufenden Jahr konnte erstmals eine Lotpaste zertifiziert werden, die bei korrektem Lötprozess weder die Eigenschaften der spektralselektiven Absorberrschicht schädigt noch zu signifikanten Ausgasungen führt.

Eine in Rapperswil durchgeführte internationale Tagung zum Thema Löten von Solarabsorberrn war rege besucht und hat die Experten aus ganz Europa zusammengebracht.

#### *Kollektorwirkungsgradfaktor*

Die gute thermische Verbindung zwischen Absorberrblech und Rohr ist Voraussetzung für die hohe Leistungsfähigkeit eines Absorberrn. Mittels einer Messeinrichtung kann diese Eigenschaft direkt eruiert werden. Der Kollektorwirkungsgrad-Faktor ( $F'$ ) wurde an 10 Absorberrn im Auftrag der Industrie bestimmt. Besonders erwähnenswert sind die hervorragenden Resultate die mit lasergeschweissten Verbindungen von Kupferrohr und spektralselektiv beschichtetem Aluminiumblech erzielt wurden.

### **Materialien zur Leistungssteigerung thermischer Solaranlagen**

Nach einem Jahr Exposition auf unserem Freibewitterungsstand wurden alle Gläser erneut gemessen (spektrale Transmission und Winkelfaktor). Erste Tendenzen können aus den Resultaten abgeleitet werden. Aufgrund der stochastischen Natur von Verschmutzungs- und Reinigungsprozessen ist es für eine Beurteilung der einzelnen Beschichtungen jedoch noch zu früh. Die Exposition wird wie geplant weiter geführt.

### **Unterhalt der Anlagen und Anlagenerweiterung**

Das bestehende FTIR wurde durch ein Neugerät desselben Typs ersetzt. Dadurch konnte der für unsere Zwecke erforderliche Umbau (Anpassung der integrierenden Kugeln und der stärkeren Quellen) zügig durchgeführt werden, ohne den routinemässigen Messbetrieb zu stark zu stören. Neu liegen die Quellen jetzt ausserhalb des Spektrometergehäuses. Dadurch wird der Wärmeeintrag in das Gerät reduziert, wodurch dessen Stabilität während den Messungen verbessert wird.

Das alte FTIR wurde jedoch noch nicht ausgemustert sondern wird vielmehr für Sondermessungen einsatzbereit gehalten. Durch einen kleinen Umbau können damit jetzt Messungen (direkt-direkte Reflexion und Transmission) im FIR bis über 100  $\mu\text{m}$  hinaus durchgeführt werden.

Die beiden Klimaschränke wurden vom Hersteller komplett revidiert. Neben dem Austausch der Kältemaschinen und der Umstellung auf umweltfreundliches Kältemittel wurde die Regelelektronik komplett ersetzt. Da die neuen Regler über mehr Ein- und Ausgänge verfügen, als für das Regeln der Schränke notwendig wäre, können diese praktisch als Datenlogger und zur Ansteuerung von Experimenten benutzt werden. Für die Prozessleittechnik und Datenerfassung wurde ein zur neuen Elektronik passendes Softwarepaket angeschafft. Da diese Software auf Windows/NT basiert, konnte das neue System problemlos in unser vorhandenes Rechnernetzwerk eingebunden werden.

Zur Prüfung von Solarabsorberrschichten im Vakuum wurde im letzten Jahr eine Vakuumkammer aufgebaut, welche in den existierenden Ofen eingesetzt werden kann, um so Hochtemperaturtests unter Vakuum durch-

führen zu können. Es stellte sich jedoch heraus, dass auf diese Weise die Regelbarkeit der Temperatur in der Vakuumkammer nicht unseren Ansprüchen an Stabilität genüge. Daher wurde ein neues Konzept ausgearbeitet und aufgebaut. Der neue Vakuumofen ist jetzt ein Edelstahlrohr, dessen eine Hälfte direkt beheizt ist und einen Kupferliner zur besseren Temperaturverteilung enthält. Die andere Hälfte kann gekühlt werden. Für kurze Aufheiz- und Abkühlzeiten wird das Rohr gewippt, so dass der im Rohr befindliche Probenwagen je nach Wipprichtung in die heisse bzw. in die kalte Zone rollt.

Die durchgeführten Qualitätsprüfungen an Sonnenkollektoren haben gezeigt, dass immer wieder Materialien eingesetzt werden, die den thermischen Belastungen nicht Stand halten. Dies zeigt sich zum Beispiel am Niederschlag von Ausgasungsprodukten an der (kalten) Kollektorabdeckung. Um derartige Fehlerquellen schnell Indoor ermitteln zu können, wurde ein Solarsimulator aufgebaut. Dieser erlaubt die Ausleuchtung einer  $1 \times 2 \text{ m}^2$  grossen Fläche mit einer Leistung von etwa  $1020 \text{ W/m}^2$  und einer räumlichen Homogenität besser  $\pm 7\%$ . Neben diesen Belastungstests wurden auch bereits Thermosiphonkreisläufe untersucht und optimiert. Aufgrund des grossen Unterschieds zwischen dem Solarspektrum und dem vom Simulator emittierten Spektrum [1] ist derzeit die Durchführung von Leistungsprüfungen nicht vorgesehen. Mittels entsprechender Korrekturrechnung und ergänzenden spektralen Messungen des Absorbers und der Abdeckung wären wir jedoch jederzeit dazu in der Lage.

### **Zertifikation Solarglas**

Die Methode zur Zertifikation von Solargläsern [2 – 5], wurde vervollständigt und zum Download auf unserer Homepage bereit gestellt, sowie an verschiedenen Fachveranstaltungen präsentiert [6], [7], [8]. Ein Glas wurde bereits zertifiziert und konnte erfreulicherweise in die beste Klasse nicht beschichteter Gläser eingeordnet werden. Ein weiterer Glashändler hat bereits seine Absicht an der Zertifizierung teil zu nehmen angekündigt.

## **Nationale Zusammenarbeit**

Es existieren mehrere gemeinsame Projekte mit Schweizer Firmen. Diese können wir aus Vertraulichkeitsgründen nicht namentlich nennen.

## **Internationale Zusammenarbeit**

Die Zusammenarbeit im Rahmen von IEA Task 27 („Performance of Solar Facade Components“) mit Instituten wie ISE (Deutschland), SP (Schweden), CSTB (Frankreich), NREL (USA), DTU (Dänemark), NIC (Slowenien), CIEMAT (Spanien), TNO (Holland), um nur einige zu nennen, verläuft sehr positiv. Insbesondere gibt es mit den Instituten ISE und SP auch ausserhalb der o. g. Projekte eine rege Zusammenarbeit.

## **Bewertung 2002 und Ausblick 2003**

### **IEA – MSTC und IEA – Task 27**

Die gesteckten Ziele für 2002 wurden erreicht. Im Rahmen von MSTC werden 2003, falls erforderlich, noch ergänzende Beiträge zum geplanten Buch auszuarbeiten sein. Im Task 27 wird die Freibewitterung weiter geführt und, wo nötig, Indoor Tests gefahren. Die beobachteten Degradationsvorgänge sollen durch mathematische Modelle beschrieben werden, um so die Übertragung der Ergebnisse aus den Indoor Versuchen auf die Degradation im realen Einsatz bewerkstelligen zu können.

### Messungen im Auftragsverhältnis

Die Anzahl der Messaufträge 2002 ist zu unserer vollen Zufriedenheit ausgefallen. Durch die Bereitstellung eines Messgerätes zur Bestimmung des Emissionsgrades von Gläsern in Übereinstimmung mit der CEN Norm EN 12898:2001 sollten wir im nächsten Jahr neue Kunden gewinnen können.

### Materialien zur Leistungssteigerung thermischer Solaranlagen

Die exponierten Gläser wurden gemessen, für eine Beurteilung der beobachteten Änderungen ist es aber noch zu früh. Im Herbst 2003 werden die Gläser erneut gemessen. Erste Aussagen zum tatsächlichen Verhalten der Beschichtungen bzgl. des Verschmutzens bzw. Degradation sollten dann getroffen werden können.

### Unterhalt der Anlagen und Anlagenerweiterung

Der Austausch des FTIR Spektrometers wurde ohne Probleme durchgeführt. Durch eine spezielle Optik sollten damit absolute Messungen des direkten Reflexionsgrades möglich sein. Diese Optik soll 2003 in Betrieb genommen werden.

Der Umbau der Klimaschränke wurde abgeschlossen und die Schränke sind wieder in Betrieb. Dank der neuen Software sind diese nun in unser Rechnernetzwerk eingebunden. Die freien analogen und digitalen Ein- und Ausgänge der Regler sollen für Steuerungs- und Datenerfassungszwecke zugänglich gemacht werden.

### Zertifizierung Solarglas

Das Verfahren zur Zertifizierung von Solarglas wurde fertiggestellt und in Fachkreisen eingeführt. Ein erstes Glas wurde bereits zertifiziert. Weitere Gläser sollen dazu kommen.

## Referenzen

- [1] C. Müller-Schöll, S. Brunold, U. Frei: **Significance of Spectral Correction of Collector Measurements Performed in Solar Simulators**, Proceedings of the Eurosun 2002 Conference in Bologna, Italy.
- [2] U. Frei, S. Brunold: **Zertifizierung von Solarglas: Text und Vertrag**, SPF-HSR, Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil; Download von [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch).
- [3] S. Brunold, U. Frei: **Zertifizierung von Solarglas: Bestimmung des Transmissionsfaktors  $F_{\tau}$** , SPF-HSR, Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil; Download von [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch).
- [4] S. Brunold, U. Frei: **Zertifizierung von Solarglas: Bestimmung des Fotodegradationsfaktors  $F_{UV}$** , SPF-HSR, Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil; Download von [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch).
- [5] S. Brunold, U. Frei: **Zertifizierung von Solarglas: Bestimmung des Winkelgewichtungsfaktors  $F_{IAM}$** , SPF-HSR, Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil; Download von [www.solarenergy.ch](http://www.solarenergy.ch).
- [6] S. Brunold, U. Frei: **Certification of Solar Glass**, Proceedings 4. ISES Europe Solar Congress Eurosun 2002, 23. bis 26. Juni 2002, Bologna, Italy.
- [7] S. Brunold, U. Frei: **Was ist Solarglas?**, Proceedings 12. Symposium Thermische Solarenergie, 24. bis 26. April 2002, Kloster Banz, Deutschland.
- [8] S. Brunold, U. Frei: **Was ist Solarglas?**, Proceedings 6. Internationales Symposium für Solarenergienutzung, 16. bis 19. Oktober 2002, Gleisdorf, Österreich.