

Thermische Kollektoren im Qualitätstest

U. Frei, C. Müller-Schöll, Institut für Solartechnik (SPF)
Hochschule Rapperswil (HSR)
Postfach 1475, CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 55 222 48 21, Fax: +41 55 210 61 31
e-mail: ueli.frei@solarenergy.ch, Internet: <http://www.solarenergy.ch>

1. Einleitung

Der Markt der thermischen Kollektoren nimmt in der Schweiz nach wie vor zu. Allerdings sind die jährlichen Steigerungsraten, bezogen auf die installierte Kollektorfläche bescheiden. Sie liegen in der Grössenordnung von 10%. Um die Zielvorgaben des Schweizer Bundesprogramms "Energie 2000" zu erreichen, müssten die Steigerungsraten ein Vielfaches sein. Seit nunmehr 2 Jahren werden in der ganzen Schweiz von Bundesseite einheitliche Förderbeiträge für thermische Kollektoren ausgerichtet. Damit stehen verlässliche Zahlen bezüglich der Marktentwicklung zur Verfügung. Die Bedingungen zur Förderung eines bestimmten Produkts wurden ab Januar dieses Jahres neu festgesetzt. Es werden nur noch Kollektorfabrikate gefördert, welche die Leistungsprüfung und die bestandene Qualitätsprüfung aufweisen. Für neue Produkte gilt eine Übergangsfrist von einem Jahr, während derer die verlangten Prüfungen erfolgreich durchgeführt werden müssen. Zur Zeit erfüllen rund 32 Produkte die gestellten Bedingungen; weitere 34 Produkte befinden sich in der jährigen Übergangsfrist.

2. Sinn und Zweck

Gemäss den Statistiken der mitteleuropäischen Länder ist die Solartechnik eine der wenigen stark wachsenden Branchen mit einem hohem Zukunftspotential. Dies führt dazu, dass für viele Firmen der blech- oder metallverarbeitenden Branche die Solartechnik als attraktiver Markt erscheint. Dies manifestiert sich beispielsweise in der Anzahl der Kollektorhersteller und einer entsprechenden Zuwachsrate. Häufig wird aber gerade durch diese neuen Marktteilnehmer die Komplexität der Kollektortechnik unterschätzt. Ungenügende Produkte sind die Folge. Ebenso sind Importprodukte aus sonnenreichen Ländern häufig nicht für das mitteleuropäische Klima ausgelegt. Das rauhe Klima, d.h. hohe Niederschlagsmengen, Wind- bzw. Schneelast, hohe Feuchte und vieles mehr erhöht die Anforderungen an ein langlebiges Produkt drastisch.

Um Schäden im Felde zu verhindern, müssen die minimalen Anforderungen im Rahmen einer Qualitätsprüfung untersucht werden. Es geht dabei nicht um die Verhinderung einzelner Schadenfälle an Anlagen, sondern es geht darum den guten Ruf der Solartechnik langfristig zu schützen und so das Vertrauen in die Technik zu fördern. Ungenügende Produkte müssen durch eine griffige Selektion dem Markt entzogen werden.

Eine aussagekräftige Qualitätsprüfung kann bei der Einführung neuer Kollektorprodukte das Risiko teurer Fehlschläge reduzieren. Dasselbe gilt beim Einsatz neuer Materialien mit dem Ziel die Leistung zu verbessern oder Kosten zu senken.

3. Testverfahren und Beurteilung gemäss prEN 12975-1 und 2, (Stand: 10/97) für verglaste Flach- und Röhrenkollektoren

Der Normentwurf prEN 12975 besteht aus 2 Teilen. Teil 1 enthält die generellen Anforderungen; Teil 2 die Prüfverfahren. Im Vergleich zu den Prüfverfahren sind die Anforderungen sehr knapp beschrieben und lassen grossen Spielraum für die Beurteilung. Bei den meisten Prüfungen gilt das Statement "no major failure" für "bestanden" ("Pass"). Allerdings wird im Normentwurf zuwenig konkret beschrieben was ein "major failure" ist und damit zu einem "nicht bestanden" führt ("Fail"). Während der letzten Jahre hat sich das SPF eine umfangreiche Liste von Kriterien zur Beurteilung von Veränderungen während der Qualitätsprüfung erarbeitet.

Kurzbeschreibung des Verfahrens:

Prüfungen:

- Absorberdruckprüfung
- Expositionstest
- Interner thermischer Schock
- Beregnung
- Schlagfestigkeit
- Beständigkeit gegen hohe Temperaturen
- Externer thermischer Schock
- Mechanische Belastung
- Kombination mechanische Belastung und Beregnung
- Abschliessende Begutachtung

Vorgehen

Von den 3 identischen Testkollektoren wird vorerst nur einer geprüft. Treten während aller Prüfungen keine "major failures" auf ist der Kollektor qualifiziert. Erfüllt er eine der Prüfungen nicht, werden die beiden anderen derselben Prüfung unterzogen. Versagen sie ebenso, ist der Kollektor durchgefallen. Treten keine Probleme auf, wird mit einem der beiden Kollektoren das ganze Verfahren wiederholt. Sollte eine weitere Prüfung negativ ausfallen, ist der Kollektor ebenfalls durchgefallen.

Absorberdruckprüfung

Abdrücken auf das 1.5-fache des durch den Hersteller spezifizierten maximalen Betriebsdruckes für 10 Minuten. Dieser Test wird zu Beginn und am Ende der Testreihe durchgeführt.

- *Beurteilung: Der Kollektor darf kein Leck aufweisen.*

Beständigkeit gegen hohe Temperaturen

Bei diesem Test wird geprüft, ob die Materialien den zu erwartenden höchsten thermischen Beanspruchungen im Stagnationszustand kurzzeitig gewachsen sind. Der Test dauert mindestens eine Stunde bei einer Umgebungstemperatur $> 20^{\circ}\text{C}$ und einer solaren Einstrahlung $> 950 \text{ W/m}^2$. Ein zusätzliches Resultat dieser Prüfung ist die Bestimmung der Stagnationstemperatur.

Beurteilung: Alle Materialien müssen die Beanspruchung unbeschadet überstehen.

Expositionstest

Der Kollektor wird ungefüllt exponiert. Dabei müssen mindestens 30 "Schönwettertage" mit einer solaren Einstrahlung von $> 14 \text{ MJ/m}^2\text{d}$ erreicht werden. Je nach Jahreszeit, Teststand und Standort kann diese Prüfung zwei bis fünf Monate dauern.

- *Beurteilung: Die Materialien müssen die Beanspruchung unbeschadet überstehen, Es darf kein Wasser eindringen.*

Externer und interner thermischer Schock

Der Kollektor wird zunächst unter definierten meteorologischen Bedingungen (Umgebungstemperatur, Einstrahlung) in Stagnation gebracht und dann abgeschreckt. Beim externen Schock wird der Kollektor beregnet, beim internen Schock wird der Absorber mit kaltem Wasser gespült.

Der interne Schock simuliert das Anfahren der Pumpe nach einem Stagnationszustand. Er führt zu Spannungen im Absorber, die zu bleibenden Deformationen oder auch zu Schichtabplatzungen führen können.

Der externe Schock simuliert einen Regenschauer auf einen heissen Kollektor. Er führt zu Spannungen in der Abdeckung und provoziert das Kondensieren von gasförmigen Ausgasungsprodukten.

- *Beurteilung: Es darf keine Risse, Brüche oder Verformungen geben und es dürfen keine bleibenden Niederschläge von Ausgasungen auftreten.*

Mechanische Belastung

Der Belastungstest simuliert mechanische Belastungen, wie Sie bei Schnee- und Sturmwind auftreten können. Maximallast ist 1000 Pa, jeweils drückend und ziehend, das entspricht rund 100 kg/m². Die Testlast wirkt auch auf die Kollektorbefestigung, die somit auch auf Festigkeit überprüft wird. Die Anwendung des Tests auf Röhrenkollektoren ist in den Normen nicht klar geregelt.

- *Beurteilung: Glas und Glashalterung sowie die Kollektorbefestigung müssen die Belastung unbeschadet überstehen.*

Beregnung

Beim Beregnungstest wird der Kollektor einem kräftigen, vier Stunden dauernden künstlichen Regen ausgesetzt. Aufbaukollektoren werden von allen Seiten beregnet, hingegen Einbaukollektoren nur von der Vorderseite.

- *Beurteilung: Es darf kein Wasser in den Kollektor eindringen, auch nicht tropfenweise.*

Kombinierte mechanische Belastung und Beregnung

Dieser Test ist eine Kombination aus den beiden letztgenannten Tests. Gemäss Beschluss der zuständigen Arbeitsgruppe (CEN 312, WG1) wurde dieser Test gestrichen. Er stellt zugegebenermassen eine Extrembelastung dar, hilft aber auch, mögliche Schwachstellen rasch zu detektieren.

- *Beurteilung: Es darf kein Wasser in den Kollektor eindringen, auch nicht Tropfenweise.*

Schlagfestigkeit

Der Test kann wahlweise mit Stahl- oder mit Eiskugeln ausgeführt werden. Üblicherweise überstehen gehärtete Abdeckungen (ESG) der Stärken 3.2 mm und 4.0 mm den Aufschlag der Stahlkugel von 150 g aus zwei Metern Höhe. Röhrenkollektoren mit konventionellem, dünnwandigem Weissglas (eisenfreies Glas) anstelle von Boro-

silikatglas versagen hier meistens. Die Durchführung dieser Prüfung ist optional. Trotzdem ist die Prüfung, insbesondere für Kollektoren welche in hagelschlaggefährdeten Gebieten eingesetzt werden, von Bedeutung.

- *Beurteilung: Das Glas darf bei einer Fallhöhe der Kugel von 2 m nicht brechen.*

Abschliessende Begutachtung

Der Kollektor wird zu Ende des Tests noch einmal einer Druckprüfung unterzogen, anschliessend zerlegt und alle Einzelteile fachmännisch begutachtet.

- *Beurteilung: Alle Komponenten müssen in einwandfreiem, funktionsfähigem Zustand sein.*

Ventilationstest (SPF-Zusatzprüfung)

SPF Rapperswil hält eine Überprüfung der Ventilation von Flachkollektoren, d.h., die Fähigkeit eingedrungene Feuchtigkeit wieder "wegzuatmen", für dringend erforderlich. Wir führen deshalb diesen Test für Flachkollektoren im Rahmen der Qualitätsprüfung standardmässig durch. Dabei wird eine definierte Menge Wasser in den Kollektor gegeben. Unter bestimmten Randbedingungen wird mittels Feuchtesensor das Verhalten des Kollektors verfolgt.

- *Beurteilung: Unter Einhaltung der Randbedingungen muss die absolute Feuchte im Kollektor innerhalb von 10 Tagen wieder auf den Wert vor der Zugabe von Wasser abgesunken sein.*

Aufwand, Dauer und Kosten der Qualitätsprüfung

Die Testreihe der Qualitätsprüfung ist – seriös durchgeführt – extrem manpower-intensiv. Wo eine Wirkungsgradmessung heute überall computergesteuert abläuft und Software die Auswertung übernimmt, müssen bei der Qualitätsprüfung an jedem einzelnen Kollektor Beobachtungen während der Testdurchführung gemacht, rapportiert und in den Testbericht integriert werden.

Zusätzlich müssen jeweils zum richtigen Zeitpunkt die unterschiedlichen erforderlichen Testaufbauten installiert werden (mechanische Belastung, Beregnung, Schocks, Schlagfestigkeit). Nach Abschluss aller Prüfungen wird der Kollektor qualifiziert zerlegt und es erfolgt eine Dokumentation von allfälligen Materialveränderungen.

Erschwerend kommt hinzu, dass für viele Tests spezifische Meteobedingungen vorgegeben sind, die nicht das ganze Jahr hindurch erreicht werden. Somit ergibt sich ein erheblicher organisatorischer Aufwand.

Der Sonne nachführbare Prüfstände (Tracker) erleichtern das Ausnützen der verfügbaren Strahlung. Trotzdem dauert eine komplette Qualitätsprüfung im Aussentest nicht unter vier Monaten.

Im günstigsten Fall, d.h. wenn keine Prüfung wiederholt werden muss, beträgt der Personalaufwand in etwa 30 h, inklusive Erstellung des Berichts, Vertragsabschluss und den Montage- und Demontearbeiten.

Mit Berücksichtigung der Amortisation der Anlagen sind die Kosten einer kompletten Qualitätsprüfung in der Grössenordnung von EUR 4000.00. In der Schweiz wird die Qualitätsprüfung im Rahmen des Bundesprogramms "Energie 2000" massiv gefördert und kostet zur Zeit lediglich EUR 1500.00.

4. Die häufigsten Schwachpunkte an thermischen Kollektoren

Die Qualitätsprüfung an thermischen Kollektoren wird am SPF seit nunmehr 4 Jahren routinemässig durchgeführt. Die grosse Erfahrung kommt wiederum den Kollektorherstellern zugute. Auf der einen Seite steht das SPF mit Rat und Tat zur Seite, um Herstellern bei der Behebung von während der QP festgestellten Mängeln zu unterstützen; auf der anderen Seite, dient die Darstellung der häufigsten Schwachstellen dazu, Konstrukteure neuer Produkte auf kritische Punkte aufmerksam zu machen.

Zunächst die gute Nachricht: 80 % der getesteten Kollektoren haben die Qualitätsprüfung bestanden. 20 % wiesen allerdings so grosse Mängel auf, dass sie zurückgezogen wurden. 50 % gingen mit Detailänderungen in eine "zweite (oder gar dritte) Runde".

Die Belastungen, die den Kollektoren am meisten zu schaffen machen, ist die Regendichtigkeit (teilweise in Kombination mit mechanischer Belastung) und das Problem der Ausgasungen der Wärmedämmung: Rund ein Viertel der Kollektoren bekamen hier schlechte Noten.

Ein weiteres Problem ist, dass immer wieder einzelne gehärtete Gläser (ESG) beim Hageltest versagen. Es ist noch nicht schlüssig, worauf dieses Phänomen zurückzuführen ist.

	Anzahl Fabrikate
Durchgeführte, abgeschlossene Prüfungen	39
Zur Zeit in Prüfung	34
Positiv abgeschlossene Prüfungen	32
Durchgefallen, Prüfung abgebrochen	7
Prüfungen ohne Beanstandung durchlaufen	16
Wiederholungen von Prüfungen infolge Beanstandung	16

Tabelle 4.1: Durchgeführte Prüfungen

Die nachfolgende Statistik gibt erste Hinweise auf die häufigsten Schwachpunkte:

	Anzahl Fabrikate
Regendichtigkeit des Kollektors	12
Sichtbare Kondensationsniederschläge an der Innenseite der Kollektorverglasung	11
Übrige Probleme	16

Tabelle 4.2: Häufigste Problembereiche

In der nachfolgenden Skizze sind die Problembereiche thermischer Flachkollektoren beispielhaft dargestellt.

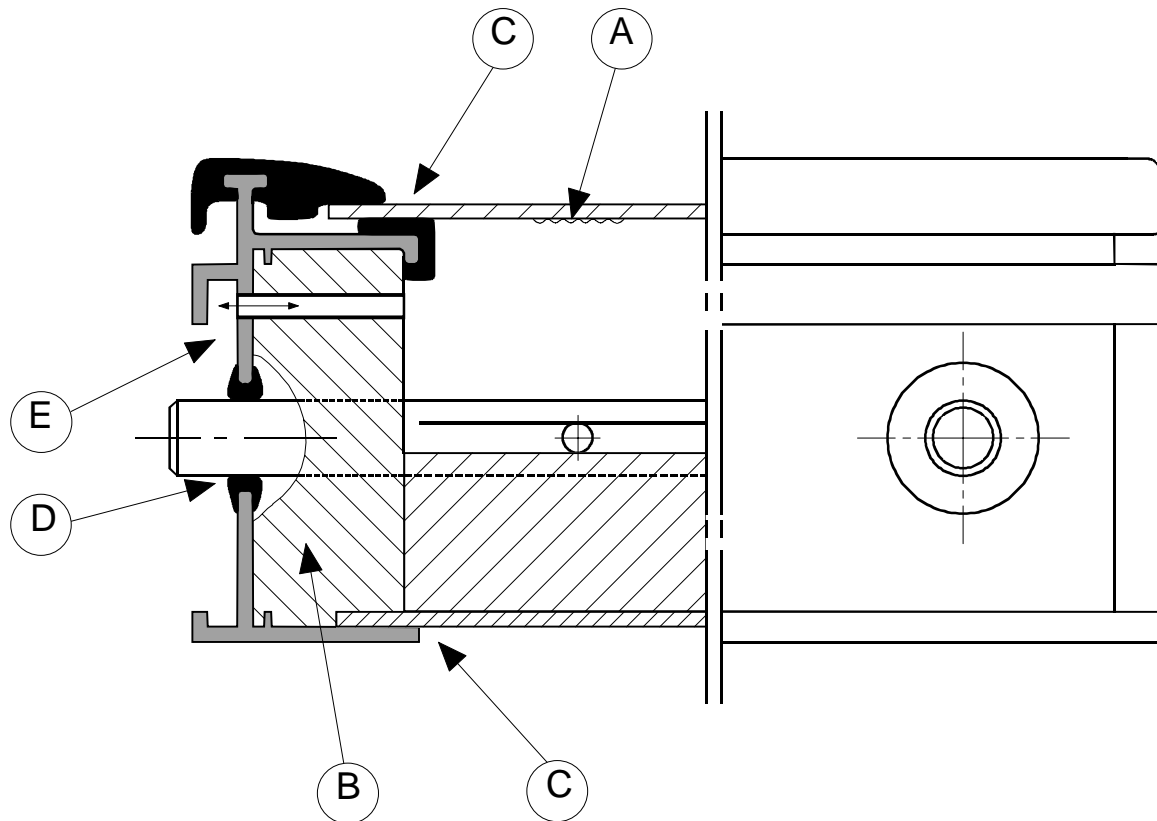


Fig. 1 Schematische Darstellung eines Flachkollektors

- A) Kondensationserscheinungen an der Innenseite der transparenten Abdeckung
- B) Wärmedämmung, Ausgasung von Bestandteilen der Wärmedämmung
- C) Dichtigkeit des Gehäuses, inklusive Eindichtung der transparenten Abdeckung und der Rückwand
- D) Dilatation des Absorbers, Durchführung der Anschlüsse für Ein- und Austritt
- E) Ventilation

Kondensationserscheinungen an der Innenseite der transparenten Abdeckung

Sichtbare Niederschläge auf der Innenseite der Verglasung eines thermischen Kollektors können auf 2 wesentliche Probleme reduziert werden:

- Kondensation von Wasserdampf als Folge von Undichtigkeiten am Gehäuse und / oder mangelhafte Belüftung.
- Ausgasungen aus der Wärmedämmung kondensieren an der transparenten Abdeckung.

Der Effekt wird durch die atmosphärische Gegenstrahlung, welche eine Abkühlung der transparenten Abdeckung unter die Umgebungstemperatur ermöglicht, verstärkt.

Wärmedämmung, Ausgasung von Bestandteilen der Wärmedämmung

Eine Reihe von Umständen hat die Problematik ausgasender Dämm-Materialien verschärft. Zum einen erreichen Flachkollektoren dank besserer solarselektiver Beschichtungen höhere Stillstandstemperaturen, zum anderen wurde die Produktionstechnik von beispielsweise Polyurethanschäumen in den letzten Jahren verändert

(FCKW-freie Produktion). Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass bindemittelarme Dämmstoffe auf der Basis von Stein- oder Glaswolle, ohne weitere Zusatzstoffe, in der Regel keine Probleme bieten. Die Qualität von Polyurethanschäumen ist, bezüglich deren Temperaturstabilität, sehr unterschiedlich. Erfahrungen haben gezeigt, dass die Umstellung der Treibmittel (weg von FCKW) die Einsatzgrenze, ohne dass Niederschläge zu erwarten sind, unter die 100°C-Grenze gedrückt hat. Eine nahtlose Aluminiumkaschierung kann das Ausgasungsproblem reduzieren, bzw. lösen, falls nicht Blasenbildung oder anderweitige mechanische Einflüsse die Kaschierung beschädigen. Die Eigenschaften der Dämmung bezüglich Wasseraufnahme sind in einem korrekt aufgebauten und betriebenen Kollektor ohne Bedeutung. So ist beispielsweise Melaminschaum für Kollektoren bis max. 200°C problemlos einsetzbar, obschon der Schaum - vergleichbar mit einem Schwamm - grosse Mengen Wasser aufnehmen kann.

Dichtigkeit des Gehäuses, inklusive Eindichtung der transparenten Abdeckung und der Rückwand

Die Regendichtigkeit des Gehäuses ist eine elementare Voraussetzung für eine lange Lebensdauer des Kollektors. Eingedrungenes Wasser kann, bis zu einem bestimmten Grad, durch eine korrekte Ventilation wieder aus dem Kollektor transportiert werden; ist die eintretende Wassermenge allerdings zu gross, führt dies zu leistungsmindernden Kondensationseffekten am Glas, bzw. zu einer Erhöhung der thermischen Verluste durch die rückseitige Wärmedämmung. In drastischen Fällen kommt es zu Pilz- bzw. Algenbildung oder zu Korrosionsangriffen an metallischen Werkstoffen im Innern des Kollektors. Die Eindichtung der transparenten Abdeckung wird zunehmend mit EPDM-Profilen realisiert. Gleichzeitig sind die Rahmen selbstentwässernd; damit wird ein Eindringen von Regenwasser ins Innere des Kollektors effizient verhindert. Im Bereich der Gehrung kommt es konstruktionsbedingt häufig zu Leckagen. Durch entsprechende Einlageteile (siehe Fig. 4) können Dichtstoffe flächig aufgebracht und Undichtigkeiten langfristig verhindert werden. Im Kommen sind "umlaufende" Profile oder auch Wannen, wo diese Probleme erst gar nicht auftreten können. Die Rückwand von Aufbaukollektoren muss dicht mit dem Rahmenprofil verbunden sein. Damit wird auf der einen Seite das Eindringen von Wasser, beispielsweise bei einer Flachdachaufständerung verhindert und auf der anderen Seite unkontrollierter Luftaustausch mit der Umgebung (siehe Ventilation) verhindert.

Dilatation des Absorbers, Durchführung der Anschlüsse für Ein- und Austritt

Die Ausdehnung des Absorbers infolge Erwärmung wird häufig unterschätzt. Im Falle von Kupfer beträgt die maximale Ausdehnung eines "Harfenabsorbers" mit 2 m Länge, rund 7 mm. Die Dehnung muss im Bereich der Rohrdurchführung aufgenommen werden können. Falls nicht, wird der Absorber deformiert und verändert damit beispielsweise den Abstand zur transparenten Abdeckung, was die thermischen Verluste erhöht. Neben der Aufnahme der Dilatation müssen die Durchführungen der Anschlüsse langfristig dicht sein. Häufig wird der Absorber einzig durch die Durchführungen gehalten. Dies kann zu mechanischen Überbeanspruchungen und zu bleibenden Verformungen an den Elastomerformteilen ("Tüllen") führen. Damit ist die Dichtigkeit des Kollektors gefährdet.

Ventilation

Die Aufgabe und Wirkungsweise einer gut funktionierenden Lüftung wird nach wie vor unterschätzt. Das Mikroklima im Kollektor und damit die Belastung der eingesetzten Materialien wird durch die Lüftung stark beeinflusst. Langfristige Untersuchungen haben deutlich gezeigt, dass Korrosionen an Metallcoupons (Stahl, Kupfer, Zink) einzig durch die Lüftungsrate massiv beeinflusst werden können. Zusätzlich führt eine korrekte Ventilation zu einem Feuchtetransport aus dem Kollektor und minimiert damit Kondensationseffekte von Wasserdampf an der Innenseite der transparenten Kollektorabdeckung.

Voraussetzungen für eine gut funktionierende Ventilation sind:

- Durch die Lüftungsöffnungen kann kein Wasser eindringen
- Die Öffnungen sind diagonal angebracht (beispielsweise oben rechts und unten links)
- Die Öffnungen haben keinen (bzw. einen minimalen) Druckverlust zwischen Kollektorumgebung und Kollektorinnenraum (Luftspalt zwischen Absorber und Abdeckung des Kollektors, allenfalls luftströmungsbehindernde Wärmedämmung ausschneiden)
- Faustformel für die Grösse der Lüftungsöffnung: Volumen des Luftspalts des Kollektors in Liter dividiert in 2 ergibt die notwendige Fläche pro Lüftungsöffnung in Quadratmillimeter (gilt nur für Aufbaukollektoren üblicher Abmessungen im Anstellwinkelbereich von 20 bis 70°). Der minimale Durchmesser einer Lüftungsöffnung sollte 5 mm nicht unterschreiten.

4. Schlussfolgerungen

Die Qualitätsprüfung an thermischen Kollektoren ist ein effizientes Instrument den Markt vor ungenügenden Produkten zu schützen. Qualitativ gute Produkte sind die Voraussetzung für eine gesunde Marktentwicklung.

Dass eine gewissenhaft durchgeführte Qualitätsprüfung notwendig ist, zeigen die folgenden Zahlen:

- Die Hälfte aller Produkte durchlaufen alle Prüfungen ohne nennenswerte Probleme
- Ebenfalls die Hälfte aller Produkte müssen mindestens einmal nachgebessert werden, bevor sie alle Prüfungen bestehen.
- Rund ein Fünftel der Kollektoren weisen so schwerwiegende Mängel auf, dass sie von der Prüfung zurückgezogen werden.

Die Zusammenarbeit mit den Herstellern – auch wenn Probleme auftreten – ist mit wenigen Ausnahmen positiv und konstruktiv. Die Hilfestellung des SPF wird von vielen Kunden geschätzt.

Obschon das Prüfverfahren sicher nicht alle möglichen Schwachpunkte innerhalb der gesamten erwarteten Lebensdauer detektieren kann, zeigen sich grobe Mängel bereits nach verhältnismässig kurzer Zeit.

Die häufigsten Schwachpunkte sind klar evaluiert. Wenn bei Neukonstruktionen diese Punkte beachtet werden, ist das Risiko von Qualitätsproblemen bereits stark reduziert!