

Institut für Solartechnik SPF
Hochschule für Technik Rapperswil HSR
CH- 8640 Rapperswil
www.solarenergy.ch

Stagnationsbeständigkeit von hydraulischen Verbindungselementen in solarthermischen Systemen

Version 1.1, Oktober 2012

SPF Prüfvorschrift Nr. 31

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Grundlagen.....	2
1.1	Einleitung.....	2
1.2	Geltungsbereich	2
2	Technische Grundlagen	3
2.1	Prüfbedingungen	3
2.2	Prüfablauf	3
2.3	Bewertung der Resultate	4
2.4	Prüfbericht	4
Annex A:	Stagnation	5
A.1	Vorgänge bei Stagnation solarthermischer Anlagen.....	5
A.2	Stagnation: Dauer, Häufigkeit und Temperaturbelastung	6
A.3	Stagnation: Prüfprogramm	6
Annex B:	Weiterführende Dokumente und Informationen.....	8
Sponsoren.....		8

1 Allgemeine Grundlagen

1.1 Einleitung

Während der Sommermonate kommt es bei solarthermischen Anlagen oft oder sogar regelmäßig zu Stillstandszuständen (sogenannte Stagnation) da das Überangebot an solarer Strahlung nicht genutzt werden kann [1]. Ein in Stagnation befindlicher Kollektor kann, je nach Bauart, Absorbertemperaturen von deutlich über 200°C (Flachkollektoren) beziehungsweise auch über 300°C (Vakuurröhrenkollektoren) erreichen. Bei diesen Temperaturen kommt es zur Verdampfung des Wärmeträgers im Kollektor. Der Dampf gelangt dabei auch in das hydraulische System, was zu hohen thermischen Belastungen der Komponenten, vor allem im Anschlussbereich des Kollektors, führt. Hinzu kommen Belastungszustände durch Kondensation im Rohr und durch das Durchströmen mit kühlerem Fluid beim Wiedereinschalten der Anlage. Insbesondere stellt auch die Kondensation des Dampfes an Dichtungen der Rohrverbinder und Kollektoran-schlüssen, eine extreme Belastung dar. Diese wechselnden thermischen Zustände wirken sich negativ auf die Langzeitbeständigkeit der Verrohrungskomponenten aus und mindern somit deren Lebensdauer beziehungsweise können auch zu Anlagenausfällen führen.

Für die Bewertung von Anschlussystemen in Stagnationszuständen gibt es keine anerkannten Prüfmethode. Aus diesem Grund wurde ein Verfahren entwickelt mit dem die Systemzustände Druck und Temperatur während der höchsten Belastung – also im Stagnationsfall am Kollektoranschluss – für eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren realistisch nachgestellt werden können. Dieses Prüfverfahren ist anwendbar für alle Arten von Anschlussystemen im solarthermischen Kreislauf wie zum Beispiel Verschraubungen, Stecksysteme, Verpressungen etc. und bildet die Grundlage für das SPF Zertifizierungsverfahren „Stagnationsbeständigkeit von hydraulischen Verbindungselementen in solarthermischen Systemen“.

Dieses SPF Prüfverfahren berücksichtigt ausschliesslich die Beständigkeit der Anschlussysteme gegenüber den thermischen Belastungen sowie den Belastungen durch Verdampfung und Kondensation bei hohen Temperaturen und Drücken. Mechanische Belastungen der Anschlussysteme die zum Beispiel durch thermische Schocks, Einbautoleranzen oder auch Einbaufehlern entstehen, werden durch ein anderes SPF Zertifizierungsverfahren abgedeckt. Es wird im weiteren auch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die einschlägigen, lokalen Normen und Vorschriften unabhängig von dieser Zertifizierung berücksichtigt werden sollen.

1.2 Geltungsbereich

Dieses Prüfverfahren ist anwendbar für alle Arten von Anschlussystemen im solarthermischen Kreislauf wie zum Beispiel Verschraubungen, Stecksysteme, Verpressungen oder auch andere Verbindungselemente.

2 Technische Grundlagen

2.1 Prüfbedingungen

Auf Basis der in Anhang A zusammengefassten Untersuchung der Häufigkeit und Dauer von Stagnationszuständen ist ein Prüfzyklus definiert der die Belastungen durch Verdampfung und Kondensation während einer angestrebten Lebensdauer von 20 Jahren abbildet. Dieser Prüfzyklus besteht aus Zyklen abwechselnder Dampf- und Kondensationsphasen bei folgenden Bedingungen:

Druck	7-7.5 bar
Temperatur	170-180°C
Anzahl Zyklen	1600
Totale Dauer eines Zyklus	4 h
Dampfphase pro Zyklus	ca. 2.5 h
Kondensation pro Zyklus	1 h
Medium	Tyforop L (50% bei Umgebungstemperatur)

Mit diesem in Anhang A genauer erklärten Prüfprogramm wird das Stagnationsverhalten der meisten Standardsolaranlagen abgebildet für den Standort Rapperswil. Bei geeigneter Konfiguration kann für viele Anlagen die Belastung durch Stagnationszustände stark reduziert oder sogar vermieden werden. Auf der anderen Seite ist bei besonders ungeschickter Auslegung aber auch eine deutlich höhere Belastung möglich. In diesem Sinne deckt dieses Prüfverfahren einen Normalzustand ab der in Standardanlagen zu erwarten ist. Aus technischen Gründen und um die Entnahme einzelner Proben zu ermöglichen wird die Anlage mindestens 5-mal in Abständen von weniger als 2 Monaten völlig ausgekühlt.

2.2 Prüfablauf

Es werden mindestens 24 Anschlusssteile geprüft die den ganzen Prüfzyklus ohne Leckage durchlaufen müssen. Die Apparatur ist darauf ausgelegt bis zu 10 Prüfstrecken mit einer Länge von je 36 cm bei einem Durchmesser von maximal DN25 parallel zu betreiben. Jede Prüfstrecke besteht aus einzelnen Rohrstücken, die mit der zu prüfenden Verbindungstechnik zusammengesetzt werden können. Damit ist es möglich gleichzeitig verschiedene Modelle zu prüfen und/oder während der Dauer der Prüfung einzelne Prüflinge für eigene Untersuchungen der Degradation zu entnehmen. Der genaue Aufbau der Prüflinge und der Ablauf der Prüfung wird im Vorfeld der Prüfung mit dem SPF abgesprochen. Die Prüflinge werden in aller Regel vom Auftraggeber selber fachgerecht zusammengebaut.

Für eine mögliche Zertifizierung muss dem SPF bei Beginn der Prüfung auch eine nicht verbaute Probe des Anschlusssystems als Rücklegeprobe eingereicht werden. Diese Probe wird in jedem Fall als Referenz aufbewahrt. Ebenso müssen eindeutige Spezifikationen und Materialdaten der einzelnen Komponenten des Systems eingereicht werden. Diese Daten und auch der genaue Aufbau des Systems unterliegen der Geheimhaltung des ISO17025 akkreditierten Prüflabors. Bei gleichzeitiger Prüfung verschiedener Systeme muss ausserdem auch bereits im Voraus die genaue Zusammensetzung der Prüfstrecken entsprechend deklariert werden. Sind diese Informationen zu Beginn der Prüfung nicht verfügbar ist eine spätere Zertifizierung ausgeschlossen. Mindestens eine der 24 Proben bleibt nach Abschluss der Prüfung als Referenzmuster am SPF.

2.3 Bewertung der Resultate

Ein Anschlusssystem hat grundsätzlich die Funktion der Dichtigkeit im Betrieb. Aus diesem Grund wird bei der Beurteilung der Prüflinge im Rahmen einer Zertifizierung auch ausschliesslich die Dichtigkeit bei allen Betriebszuständen während der gesamten Prüfung berücksichtigt. Die Prüfung gilt als „Bestanden“ wenn die 24 Verbindungselemente während der ganzen Prüfdauer keine sichtbaren Undichtigkeiten aufweisen. Bestehen im Ausnahmefall aus anderen Gründen ernsthafte Bedenken bezüglich der Haltbarkeit des Systems behält sich das SPF vor, diesen Systemen kein Zertifikat zu erteilen. Weitere Bewertungen der Prüflinge (z.B. Qualifizierung von O-Ringen) sind nicht vorgesehen, können aber natürlich vom Auftraggeber im Eigeninteresse selber durchgeführt werden.

2.4 Prüfbericht

Nach Ablauf der Prüfung wird für jeden Anschlusstyp ein Prüfbericht erstellt der eine detaillierte Beschreibung des Prüflings sowie der Vorkommnisse während der Prüfung enthält. Dieser Prüfbericht wird elektronisch ausgestellt, ist Eigentum des Auftraggebers und wird vom SPF nicht veröffentlicht.

Annex A: Stagnation

A.1 Vorgänge bei Stagnation solarthermischer Anlagen

Während der Stagnation einer solarthermischen Anlage treten folgende Zustände auf (siehe dazu Abb. 1):

(A): Liegt kein Verbrauch (Warmwasser, Heizung) vor und ist der Solarspeicher voll beladen, wird die Zirkulation vom Wärmeträger durch den Kollektor gestoppt (Ausgangszustand).

(B): Das stehende Fluid im Kollektor wird stark erhitzt, bis es schliesslich zum Verdampfen kommt. Dabei wird Dampf in das hydraulische System gedrückt, was zu einem Ansprechen des MAG führt. Die sich einstellende Siedetemperatur kann unter den Vorgaben Systemdruck und Art des Mediums (Glykol-Sorte, Glykol-Konzentration) aus der passenden Dampfdruckkurve entnommen werden. Zunächst bleibt die Kollektortemperatur vergleichsweise konstant, da die gesamte Bestrahlungsenergie in die Fluidverdampfung eingeht. Steigt jedoch mit weiterer Verdampfung der Systemdruck, steigt damit auch der Siedepunkt des Fluids. Bei der Verwendung großer MAGs wird dem Anstieg des Systemdrucks und damit der Erhöhung der Siedetemperatur entgegengewirkt.

(C): Im diesem Zustand wird die maximale Dampfreichweite ins System und ein Gleichgewicht aus Dampfproduktion im Kollektor sowie Kondensation in den dampfgefüllten Rohrleitungen erreicht. Weiterhin ändert sich durch vorwiegende Verdampfung von Wasser die Zusammensetzung des im Kollektor verbleibenden binären Gemisches, was zu einer Aufkonzentration des Glykols führt.

(D): Mit weiterer Fluidverdampfung erreicht der Kollektor einen Zustand, in dem er annähernd entleert ist und durch die hohe Siedetemperatur des nun hochprozentigen Glykolgemisches nur noch sehr wenig Dampf produziert. Durch Kondensation im Rohr und geringer Dampfproduktionsleistung zieht sich die Dampffront aus den Rohrleitungen bis an den Kollektor zurück. Zudem kommt es zu einer Überhitzung des Dampfes durch weiteren Energieeintrag.

(E) (nicht abgebildet): Sinkt die Bestrahlungsstärke und damit die Temperaturen, kommt es zur Kondensation des Dampfes. Mit fallendem Druck wird kühleres Fluid aus dem MAG wieder in den Kollektor gedrückt, was einen erheblichen Temperatursturz bedeuten kann.

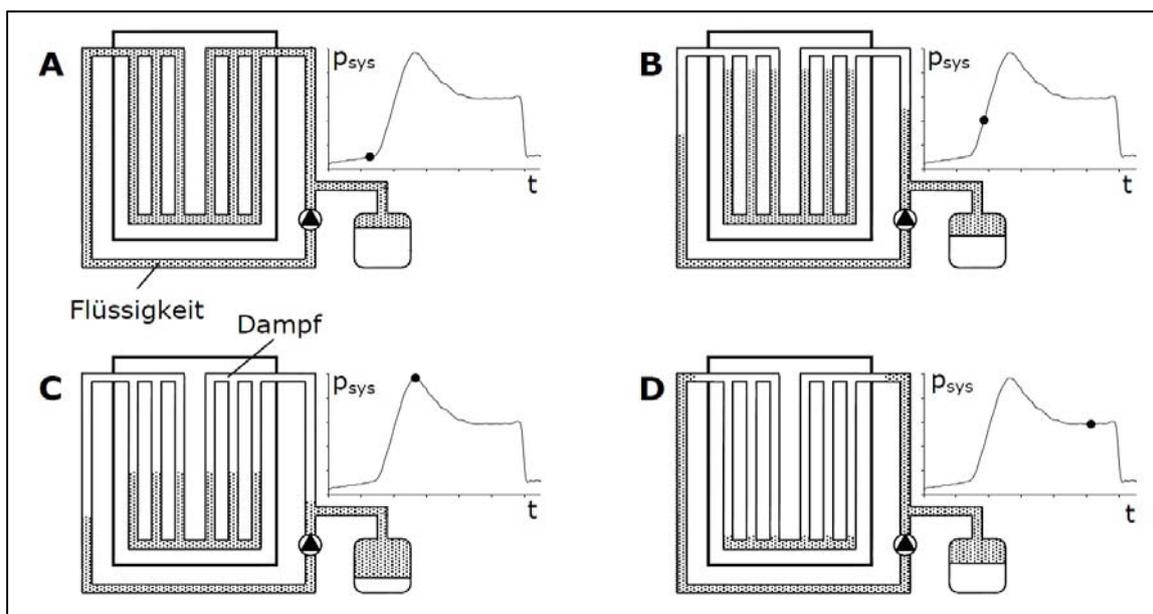


Abb. 1 Phasen der Stagnation

A.2 Stagnation: Dauer, Häufigkeit und Temperaturbelastung

Dauer und Häufigkeit

Prüfparameter und Prüfzyklen die geeignet sind zur Abbildung einer 20 jährigen Lebensdauer einer stagnierenden solarthermischen Anlage wurden im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung definiert. Dabei wurden verschiedene Quellen herangezogen [1] - [4] und auch eigene Messungen durchgeführt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass insbesondere die Häufigkeit der Stagnationszustände stark von der Anlagenauslegung abhängig ist und somit kaum allgemeingültig definiert werden kann. Um dennoch eine Aussage zu treffen wurden mit Polysun Anlagensimulationen für den Standort Rapperswil mit verschiedenen Anlagentypen – auch mit ungünstigen Verhältnissen von Kollektorfeldgrösse und Speichervolumen - durchgeführt. Diese Simulationen wurden durch eigene Feldmessungen an realen Anlagen bestätigt.

Dabei wurde eine durchschnittliche Anzahl von 48 Stagnationstagen (Auftreten von Dampf im System) gefunden, bei eher ungünstigen Anlagenkonfigurationen sind aber auch 80 Stagnationstage möglich. Die durchschnittliche aufsummierte Dauer dieser simulierten Stagnationszustände beträgt 117 h/Jahr. Bei einer Feldmessung an einer ganz ungünstig ausgelegten Anlage konnten allerdings auch bis zu 300 h/Jahr Stagnation festgestellt werden. Dies wird aber als nicht repräsentative Ausnahme angesehen und in der Definition der Prüfdauer nicht berücksichtigt.

Auf dieser Basis wurden somit 80 Tage Stagnation pro Jahr mit einer aufsummierten Dauer von 200h als Prüfgrundlage definiert. Damit werden alle vernünftig dimensionierte Anlagen mit genügend Reserve abgedeckt.

Temperatur

Die für die Anschlussysteme geltenden Stagnationstemperaturen sind stark abhängig vom eingesetzten Kolleortyp. Die in den Prüfungen (z.B. EN12975, ISO9806) von Kollektoren bestimmten Stagnationstemperaturen beziehen sich auf die Absorbtemperatur im Inneren des Kollektors und nicht auf die an den Anschlussstellen auftretenden Temperaturen. Verschiedene Untersuchungen und eigene Messungen an verschiedenen Kolleortypen im Stagnationszustand beziehungsweise im Zeitpunkt einer allfälligen Verdampfung zeigen, dass rund 80% der Stagnationsdauer in einem Bereich von 135°C-155°C liegt. Kurzfristig sind höhere Temperaturen auch bis zu 190°C beobachtet worden. Bei sehr ungünstig aufgebauten Anlagen mit Heat pipe Kollektoren sind allerdings auch Temperaturen über 250°C bestimmt worden. Diese werden aber nicht als repräsentativ angesehen.

Aufgrund dieser Untersuchungen wird somit eine Prüftemperatur von 170-180°C als ausreichend angesehen um die dauernden Belastungen im Stagnationsfall für einen Grossteil der Kollektoren und Verrohrungsmöglichkeiten abzubilden.

A.3 Stagnation: Prüfprogramm

Auf Basis dieser Werte wird ein Prüfzyklus definiert der die Belastungen während einer angestrebten Lebensdauer von 20 Jahren abbildet. Um den ständigen Wechsel zwischen Dampfbildung und Kondensation im Rohr sowie Durchströmung mit flüssigem Wärmeträger nachzustellen, werden die Lastzyklen in Heizphasen (=Dampf) und Pumpphasen (=Flüssigkeit) geteilt. Dabei folgt einer dreistündigen Heizphase eine einstündige Abkühl- bzw. Pumpphase (Abb. 2). Dieser Wert für die Heizphase, der ohne Aufheizzeit etwa eine reine Dampfzeit von 2.5 h ergibt, errechnet sich aus der Division der akkumulierten Stagnationszeit (200 h/a) mit der Anzahl der

Stagnationsfälle (80/a). Die komplette Testdauer zur Nachstellung der 20-jährigen Belastung (=1'600 Stagnationsfälle) beläuft sich bei sechs Zyklen pro Tag auf insgesamt knapp 9 Monate.

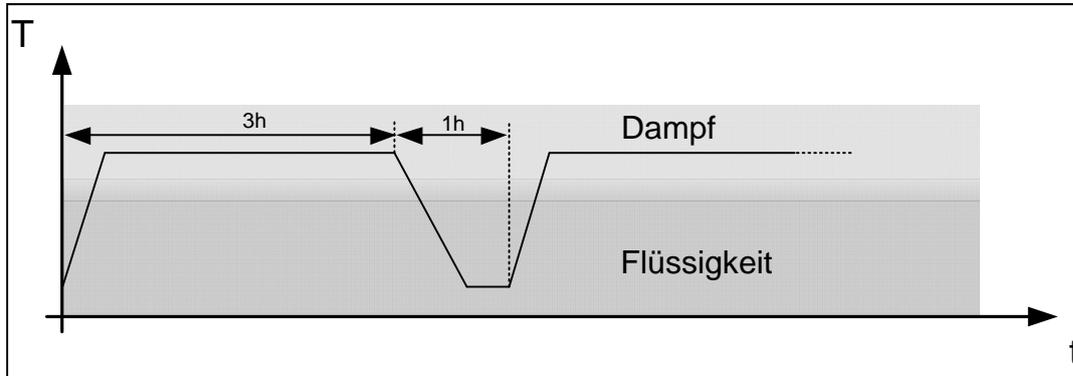


Abb. 2 Prüfzyklus

Zur Realisierung der realistischen Bedingungen wird Tyfocor[®]L, ein auf Propylenglykol basierenden Wärmeträger, welcher als binäres Gemisch angesehen werden kann eingesetzt. Dies bedeutet, dass sich das Verhältnis Wasser/Glykol in der Flüssigphase und in der Dampfphase unterscheiden. Die benötigte Prüftemperatur kann so über den Systemdruck eingestellt werden. Aus der Siedelinse (Abb. 3) kann abgelesen werden, dass bei 7 bar der flüssige Wärmeträger mit einem Verhältnis von 50% Glykol und 50% Wasser knapp über 170°C zu sieden beginnt. Der entstehende Dampf setzt sich aus 17% Glykol und 83% Wasser zusammen und wird bei etwa 168°C kondensieren. (Bei 7.5 bar liegt der Siedepunkt bei 175°C und der Kondensationspunkt bei 170°C). Der Betriebsdruck des Prüfstandes liegt somit bei etwa 7-7.5 bar (abs).

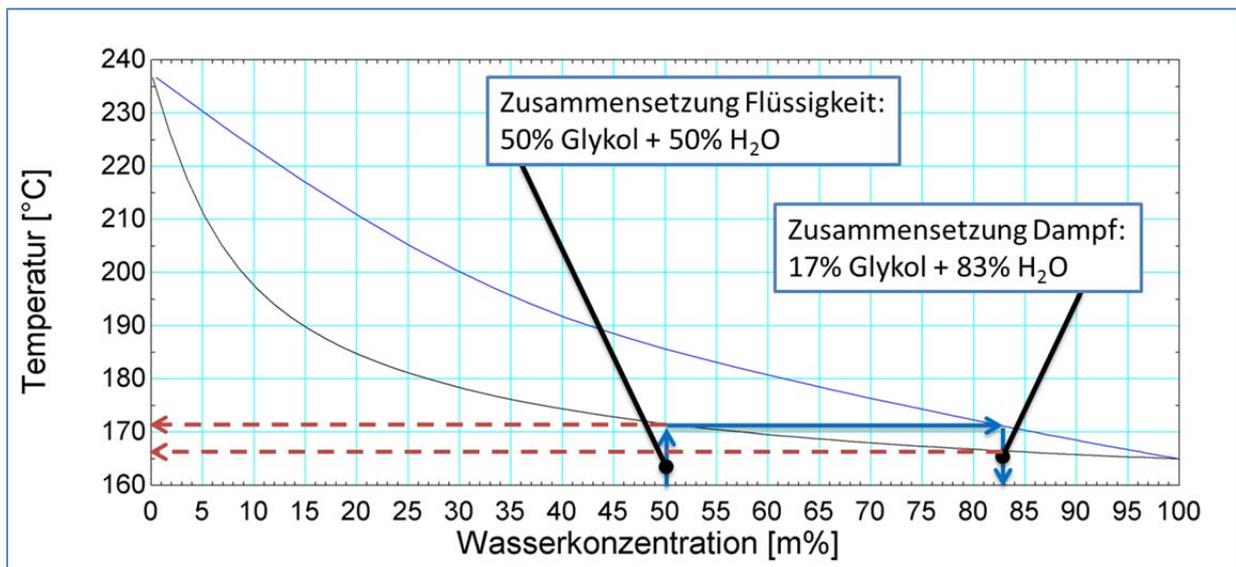


Abb. 3 Siedelinse von TyfocorL und Wasser bei 7 bar (abs)

Annex B: Weiterführende Dokumente und Informationen

- [1] Dipl.-Phys. Jörn Scheuren und Dr. Wolfgang Eisenmann, Stagnationsuntersuchungen in den Kollektorkreisen hochdimensionierter grosser thermischer Solaranlagen, Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH), 2007.
- [2] Stagnation - Institut für Solarenergieforschung. [Online]. Available: http://www.isfh.de/institut_solarforschung/stagnation.php. [Accessed: 06-Juli-2011].
- [3] Ertrags- und Anlagendaten thermischer Solaranlagen. [Online]. Available: <http://www.solarwebseiten.de/Anlagen/anlagen.php>. [Accessed: 06-Juli-2011].
- [4] J. Scheuren, Untersuchungen zum Stagnationsverhalten solarthermischer Kollektorfelder, Dissertation, Universität Kassel, 2008.

Sponsoren

Die Anlagen und das Zertifizierungsverfahren sind das Ergebnis eines vom Bundesamt für Energie mitfinanzierten Projektes.