

Europäischer Ringversuch von Sonnenkollektoren und Solaranlagen

Stephan Fischer

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0711/685-63536, Fax: 0711/685-63503
email: fischer@itw.uni-stuttgart.de

Franz Helminger, AIT Austrian Institute of Technology (AIT), Austria

Alberto García de Jalón, Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), Spain

Dominique Caccavelli, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), France

Emmanouil Mathioulakis, Solar & other Energy Systems Laboratory
(NCSR “DEMOKRITOS”), Greece

Korbinian Kramer, Fraunhofer ISE, Germany

Carsten Lampe, Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), Germany

Pilar Navarro Rivero, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), Spain

Danjana Theis, IZES gGmbH – Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Germany

Maria João Carvalho, LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Portugal

Peter Kovacs, SP Technical Research Institute of Sweden, Sweden

Ulrich Fritzsche, TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Germany

Christian Weißmüller, Institut für Eignungsprüfung (IfEP), Germany

1 Einleitung

Innerhalb des von der Europäischen Union im Rahmen von „Intelligent Energy Europe“ (IEE) geförderten Projekts QAiST (Quality Assurance in Solar Thermal Heating and Cooling Technology) wurde in den Jahren 2010 und 2011 ein Ringversuch an Sonnenkollektoren und Solaranlagen durchgeführt. Von 12 europäischen Prüfinstituten wurde die thermische Leistungsfähigkeit nach EN 12975-2 /1/ von zwei unterschiedlichen Kollektortypen, einem Flachkollektor und einem Vakuumröhrenkollektor mit CPC-Reflektor ermittelt. Die thermische Leistungsfähigkeit nach EN 12976 /2/ bzw. ISO 9459-5 /3/ von zwei unterschiedlichen Solaranlagen, einem Thermosiphonsystem und einem System mit Zwangsumwälzung, wurde von 9 europäischen Prüfinstituten ermittelt.

Die Ergebnisse des Ringversuchs wurden erstmals von einem eigens für die Auswertung von Ringversuchen (auch Eignungsprüfungen genannt) akkreditierten

unabhängigen Institut, dem Institut für Eignungsprüfung (IfEP), in Marl analysiert und ausgewertet.

2 Vorgehensweise

Bei Ringversuchen wird im Allgemeinen derselbe Prüfling nacheinander von mehreren Prüfinstituten geprüft. Diese Vorgehensweise hat, insbesondere bei Sonnenkollektoren und thermischen Solaranlagen den Nachteil, dass zum Einen die Gesamtdurchführung sehr viel Zeit in Anspruch nimmt und zum Anderen die Prüflinge durch den Transport und die wiederholte Installation u. U. verändert bzw. beschädigt werden.

Um den Ringversuch innerhalb von zwei Jahren durchführen zu können und die Beschädigung der Prüflinge auf ein Minimum zu reduzieren wurde daher folgende Vorgehensweise gewählt:

Jedes beteiligte Prüfinstitut erhielt im ersten Jahr des Ringversuchs einen Prüfling zur Messung. Dieser wurde nach Abschluss der Messungen an ein vorher bestimmtes Prüfinstitut weitergeleitet, welches den Prüfling im darauffolgenden Jahr einer Messung unterzog. Durch diese Vorgehensweise wurde gewährleistet, dass jeder Prüfling von zwei Prüfinstituten geprüft wurde.

Diese Vorgehensweise erforderte für den Ringversuch der Sonnenkollektoren je Kollektortyp (Flachkollektor und Vakuumröhrenkollektor) 12 Prüflinge und für den Ringversuch der thermischen Solaranlagen je 9 Prüflinge (Thermosiphonsystem und System mit Zwangsumwälzung). Um sicherzustellen, dass die Prüflinge möglichst geringe Schwankungen aufweisen, wurden sie alle derselben Produktionscharge entnommen.

Nach jeder Messung wurden die Ergebnisse in Form von standardisierten Prüfberichten an das Institut für Eignungsprüfung zur Evaluierung weitergeleitet.

3 Prüflinge

Die wesentlichen Merkmale der Prüflinge sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Prüfling	Wesentliche Merkmale
Flachkollektor	Einfachverglasung, Solarglas, selektive Beschichtung, Streifenabsorber aus Kupfer, 9 parallele Steigrohre, Verbindung Absorber-Steigrohre durch Ultraschallschweißung, Bruttofläche 2.37 m ²
Vakuumröhrenkollektor	Direkt durchströmt, 12 Sydneyröhren mit U-Rohr und Aluminiumwärmeleitblech, CPC Reflektor, Bruttofläche 2.28 m ²
Thermosiphonanlage	1 Flachkollektor, Bruttofläche 1.98 m ² , liegender Speicher, Nennvolumen 180 l
Anlage mit Zwangsumwälzung	3 Flachkollektoren, Bruttofläche 7.53 m ² , stehender Speicher, Nennvolumen 398 l

Tabelle 1: Wesentliche Merkmale der Prüflinge

4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte auf Basis der DIN ISO 13528 /4/ und der DIN EN ISO/IEC 17043 /5/. Bewertet wurde die Abweichung des vom Prüfinstitut ermittelten Werts W_{LAB} vom sogenannten zugewiesenen Wert X . Der zugewiesene Wert X für jedes Ergebnis wird als Konsenswert (Median) aus den Werten der teilnehmenden Laboratorien ermittelt. Die Standardabweichung der Eignungsprüfung σ wird aus den Ergebnissen der Teilnehmer mittels normalisiertem Quartilsabstand (n/QR) nach Gleichung (1) berechnet:

$$\sigma = n/QR = 0,7413 (Q3 - Q1) \quad (1)$$

$Q3$ ist der Wert einer Wertemenge, unterhalb dem 75 % aller Werte liegen, $Q1$ ist der Wert einer Wertemenge, unterhalb dem 25 % aller Werte liegen. Den Term $(Q3 - Q1)$ bezeichnet man als Quartilsabstand. Der Faktor 0.7413 ergibt sich aus der Standardnormalverteilung, die einen Mittelwert von Null und eine Standardabweichung von Eins hat. Die Breite von $(Q3 - Q1)$ beträgt in solcher Verteilung 1.34898 woraus sich der Wert 0.7413 ($1/1.34898$) ergibt. Multipliziert man $(Q3 - Q1)$ mit diesem Faktor, so kann man ihn mit einer Standardabweichung vergleichen /6/. Die Bewertung der Ergebnisse dieser Eignungsprüfung erfolgt mittels eines sogenannten Z-Werts, der aus der Gleichung (2) berechnet wird:

$$Z = \frac{W_{LAB} - X}{\sigma} \quad (2)$$

Nach DIN EN ISO/IEC 17043 /5/ gelten folgende Bewertungsstufen:

- $|Z| \leq 2$ erfolgreich teilgenommen
- $2 < |Z| < 3$ fragwürdiges Ergebnis.
- $|Z| \geq 3$ nicht erfolgreich teilgenommen

5 Präsentation ausgewählter Ergebnisse

Im Folgenden werden auf der Basis der Kollektorleistung (Sonnenkollektoren) und des solaren Deckungsgrades f_{sol} (Solaranlagen) einige ausgewählte Ergebnisse vorgestellt. Alle Ergebnisse des Ringversuchs können nach Abschluss des QAIST Projekts im Sommer 2012 dem Abschlussbericht entnommen werden.

5.1 Sonnenkollektoren

Für den Flachkollektor sind die Kollektorleistungen bei einer Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur von 0 K (Abbildung 1) und 50 K (Abbildung 2) für eine hemisphärische Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² aufsteigend von links nach rechts dargestellt.

Die einzelnen Messungen sind durch einen eindeutigen alphanumerischen Code (Zahl, Buchstabe, Zahl, Buchstabenkombination) bezeichnet. Die erste Zahl (1 bis 13 mit Ausnahme von 2) bezeichnet das Prüfinstitut, der darauffolgende Buchstabe (a, b

oder c) die Anzahl der Prüfungen an dem Prüfling, die zweite Zahl das Jahr der Prüfung (2010 bzw. 2011) und die abschließende Buchstabenkombination das Prüfverfahren (si: stationär indoor, so: stationär outdoor, qd: quasi-dynamisch).

Die Messung, die den Median in Abbildung 2 darstellt wurde demnach von Prüfinstitut 9 als erste (und in diesem Fall einzige) Messung im Jahr 2010 unter quasi-dynamischen Bedingungen bestimmt.

Insgesamt wurden 29 Messungen (15 stationäre outdoor, 9 stationäre indoor und 5 unter quasi-dynamischen Bedingungen) durchgeführt.

Für die in Abbildung 1 dargestellte Kollektorleistung, berechnet aus der Kollektorfläche und dem auf dieselbe Kollektorfläche bezogenen Konversionsfaktor η_0 liegt der Median bei 1626 W. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit Kollektorleistungen zwischen 1589 W und 1663 W (entsprechend $\pm 2.3 \%$) von allen Messungen mit Ausnahme von 6a10si und 5a10si erreicht.

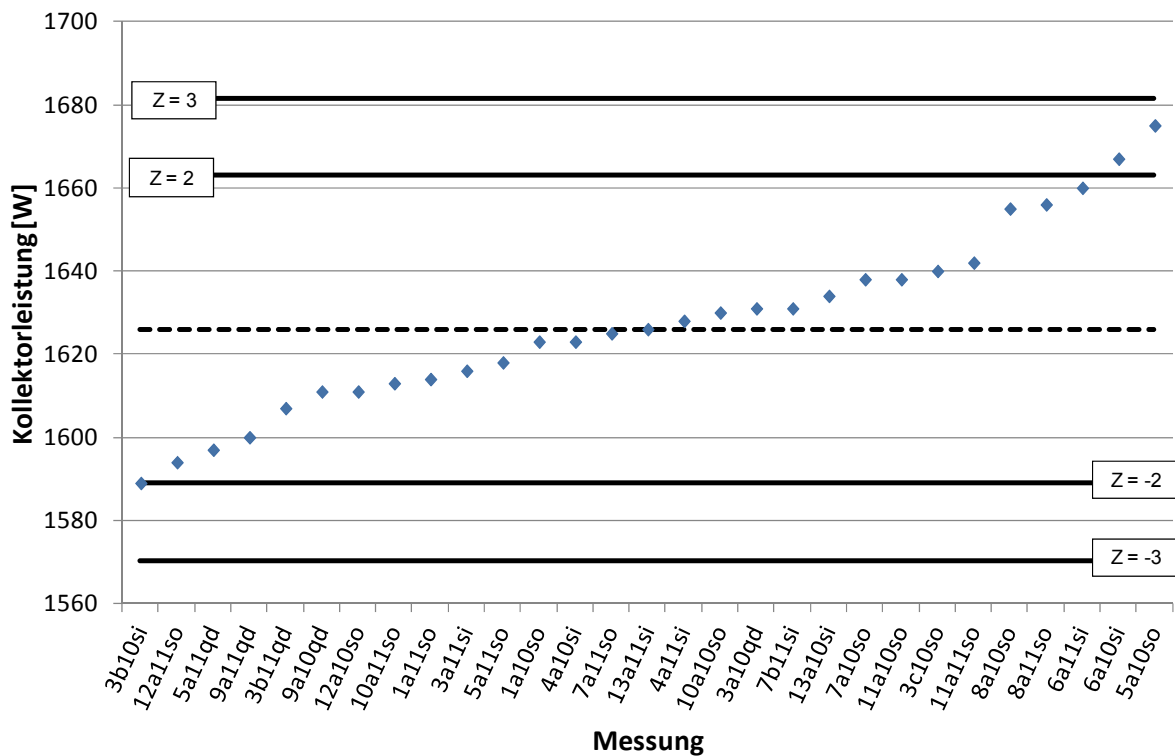


Abbildung 1: Kollektorleistung des Flachkollektors bei einer Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur von 0 K und einer hemisphärischen Bestrahlungsstärke von 1000 W/m²

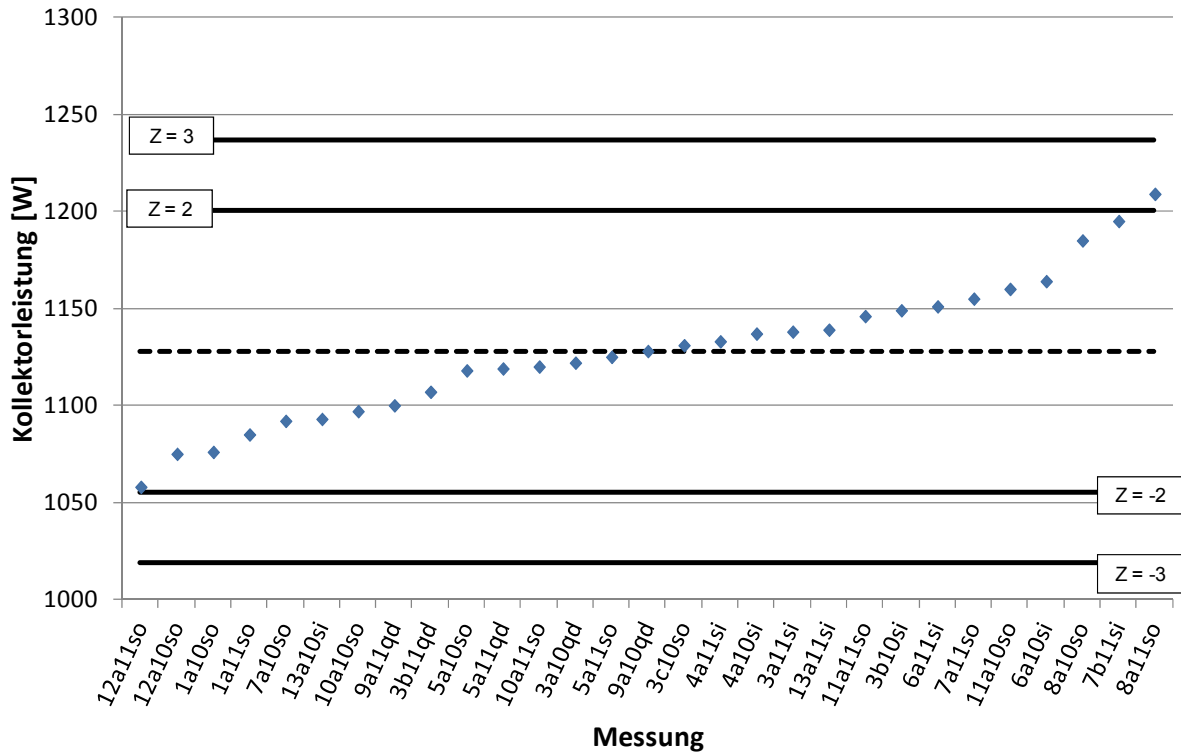


Abbildung 2: Kollektorleistung des Flachkollektors bei einer Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur von 50 K und eine hemisphärischen Bestrahlungsstärke von 1000 W/m²

Für die in Abbildung 2 dargestellte Kollektorleistung, berechnet aus der Kollektorfläche und den auf dieselbe Kollektorfläche bezogenen Kennwerten Konversionsfaktor η_0 , Wärmedurchgangskoeffizient a_1 und temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizient a_2 , liegt der Median bei 1128 W. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit Kollektorleistungen zwischen 1055 W und 1201 W (entsprechend $\pm 6.5\%$) von allen Messungen mit Ausnahme von 8a11so erreicht.

Aufgrund der unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten a_1 und a_2 ergibt sich bei einer Fluidübertemperatur von 50 K zur Umgebungstemperatur eine unterschiedliche Reihenfolge der Messungen.

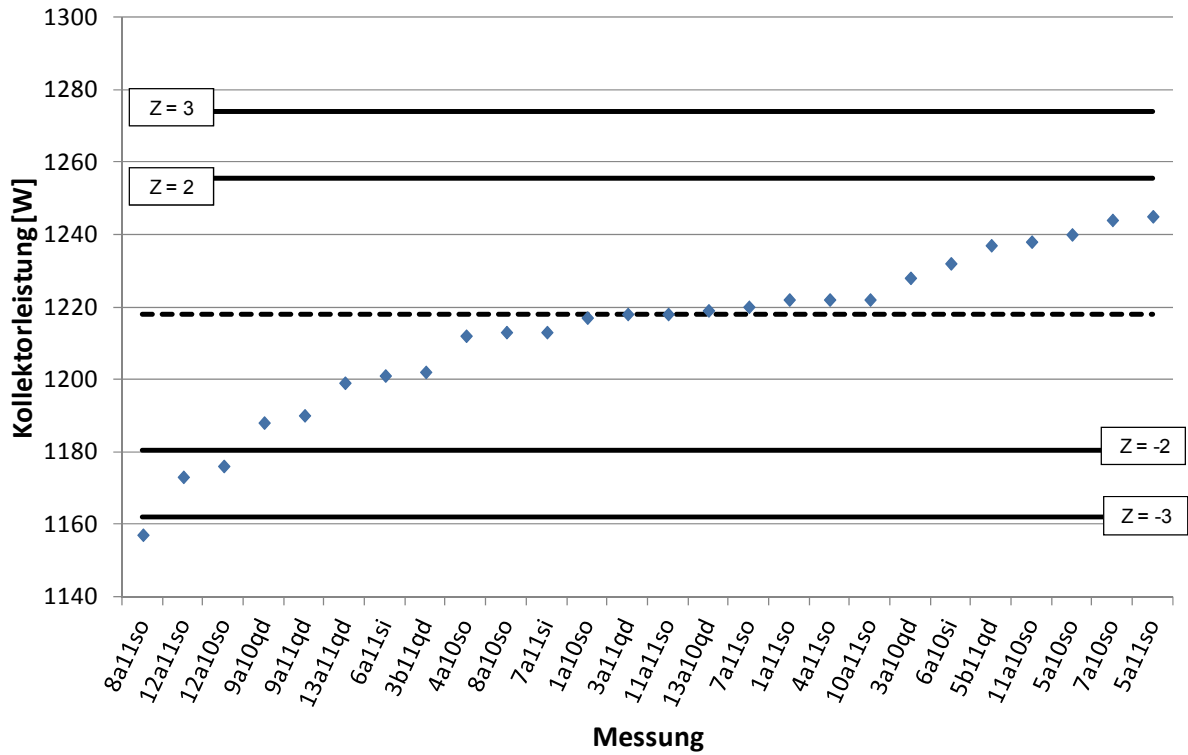


Abbildung 3: Kollektorleistung des Vakuumröhrenkollektors bei einer Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur von 0 K und einer hemisphärischen Bestrahlungsstärke von 1000 W/m²

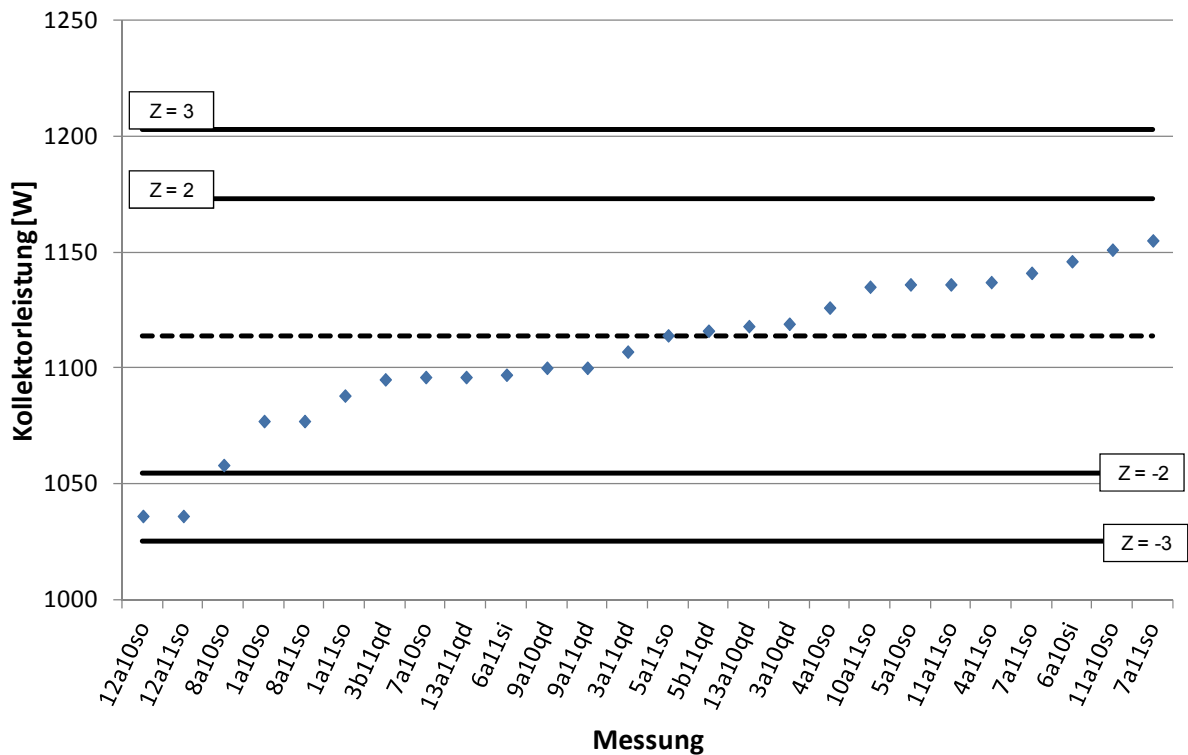


Abbildung 4: Kollektorleistung des Vakuumröhrenkollektors bei einer Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur von 50 K und einer hemisphärischen Bestrahlungsstärke von 1000 W/m²

Für den Vakuumröhrenkollektor sind die Kollektorleistungen bei einer Temperaturdifferenz zwischen mittlerer Fluidtemperatur und Umgebungstemperatur von 0 K (Abbildung 3) und 50 K (Abbildung 4) für eine hemisphärische Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² aufsteigend von links nach rechts dargestellt.

Für die Bezeichnung der Messungen wird derselbe alphanumerische Code verwendet wie beim Flachkollektor.

Insgesamt wurden 26 Messungen (15 stationäre outdoor, 3 stationäre indoor und 8 unter quasi-dynamischen Bedingungen) durchgeführt.

Für die in Abbildung 3 dargestellte Kollektorleistung, berechnet aus der Kollektorfläche und dem auf dieselbe Kollektorfläche bezogenen Konversionsfaktor η_0 liegt der Median bei 1218 W. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit Kollektorleistungen zwischen 1181 W und 1255 W (entsprechend $\pm 3\%$) von allen Messungen mit Ausnahme von 8a11so, 12a11so und 12a10so erreicht. Gemäß den Kriterien aus Abschnitt 4 ist Messung 8a11so als nicht bestanden anzusehen.

Für die in Abbildung 4 dargestellte Kollektorleistung, berechnet aus der Kollektorfläche und den auf dieselbe Kollektorfläche bezogenen Kennwerten Konversionsfaktor η_0 , Wärmedurchgangskoeffizient a_1 und temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizient a_2 , liegt der Median bei 1114 W. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit Kollektorleistungen zwischen 1055 W und 1173 W (entsprechend $\pm 5.3\%$) von allen Messungen mit Ausnahme von 12a10so und 12a11so erreicht. Aufgrund der unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten a_1 und a_2 ergibt sich bei einer Fluidübertemperatur von 50 K zur Umgebungstemperatur wiederum eine unterschiedliche Reihenfolge der Messungen.

5.2 Solaranlagen

Für die Solaranlagen sind die solaren Deckungsgrade f_{sol} für Würzburg in den Abbildungen 5 bis 7 aufsteigend von links nach rechts dargestellt. Alle Ergebnisse wurden mit Hilfe des in der ISO 9459-5 /3/ beschriebenen DST-Verfahrens bestimmt. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Messung an der Thermosiphonanlage ohne Zusatzheizung. Die Messungen sind eindeutig durch die Nummer der Prüfinstituts und des Jahres gekennzeichnet. In Abbildung 5 stellt die Messung von Prüfinstitut 11 im Jahr 2011 den Median (11_11) dar.

Für die in Abbildung 5 dargestellte solaren Deckungsgrade, berechnet aus den nach /3/ bestimmten Systemkennwerten, liegt der Median bei 44.1 %. Insgesamt wurden 17 Messungen durchgeführt. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit solaren Deckungsgraden zwischen 39.9 % und 48.3 % (entsprechend $\pm 4.2\%$ -Punkten) von allen Messungen mit Ausnahme von 13_10 erreicht.

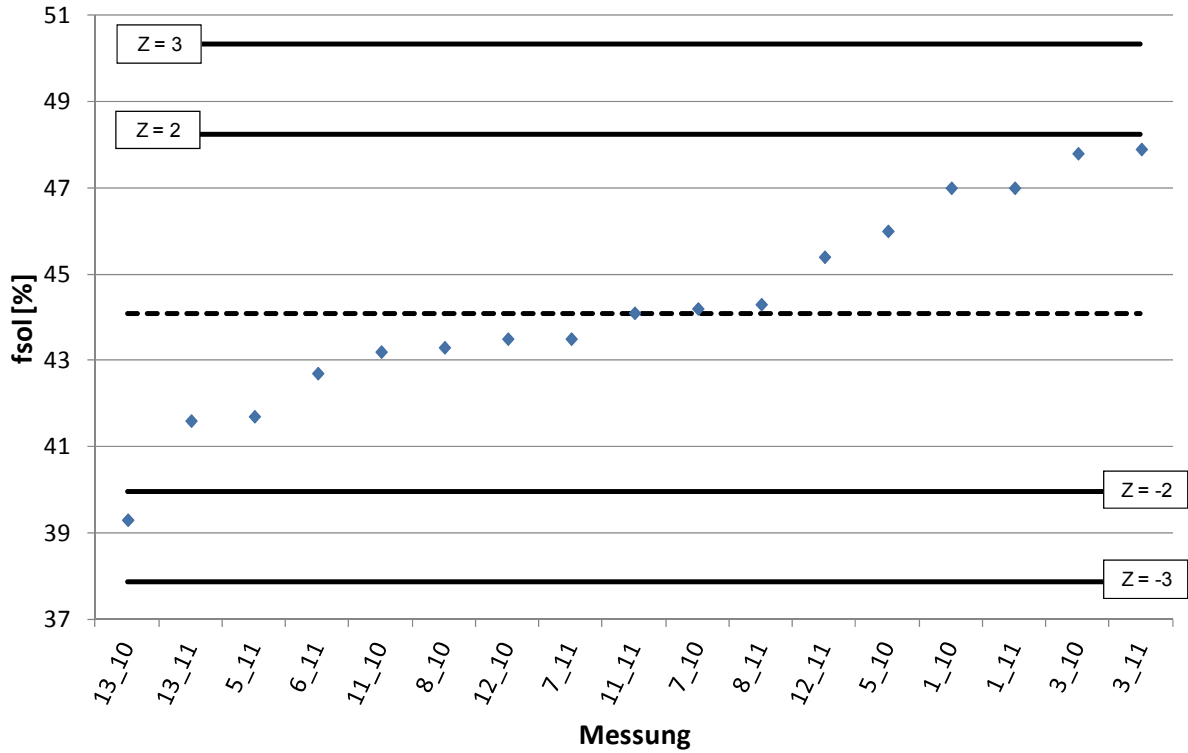


Abbildung 5: Solarer Deckungsanteil Thermosiphonanlage (Würzburg ohne Zusatzheizung) bei einer Warmwasserentnahme von 170 l/d

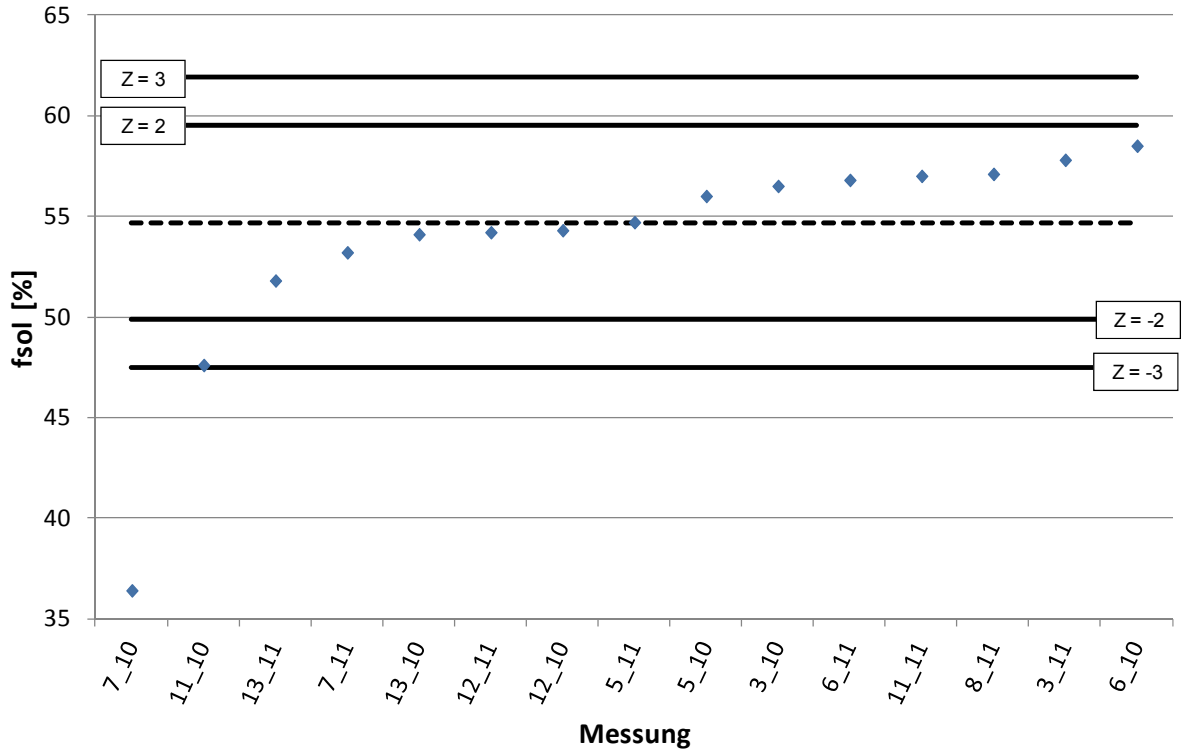


Abbildung 6: Solarer Deckungsanteil Solaranlage mit Zwangsdurchströmung (Würzburg ohne Zusatzheizung) bei einer Warmwasserentnahme von 400 l/d

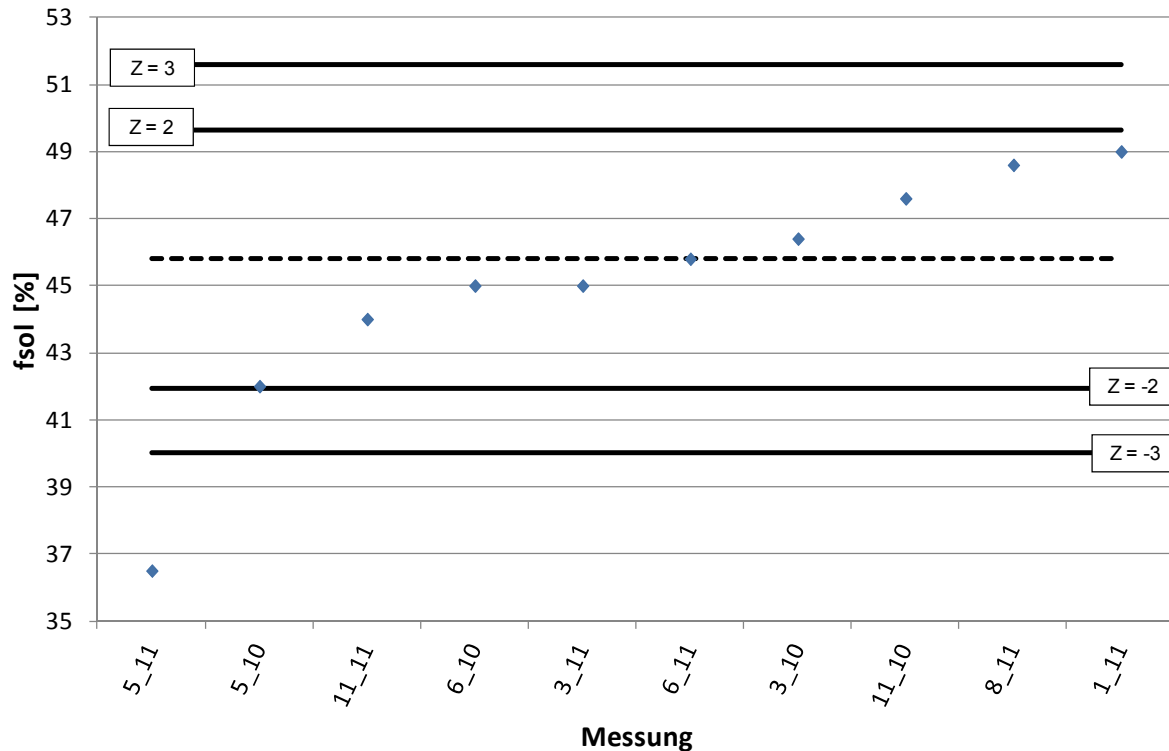


Abbildung 7: Solarer Deckungsanteil Solaranlage mit Zwangsdurchströmung (Würzburg mit Zusatzheizung) bei einer Warmwasserentnahme von 400 l/d

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Messung an der Solaranlage mit Zwangsdurchströmung ohne Zusatzheizung. Der für die dargestellten solaren Deckungsgrade, berechnet aus den nach /3/ bestimmten Systemkennwerten, liegt der Median bei 54.7 %. Insgesamt wurden 15 Messungen durchgeführt. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit solaren Deckungsgraden zwischen 49.9 % und 59.5 % (entsprechend ± 4.8 %-Punkten) von allen Messungen mit Ausnahme von 7_10 und 11_10 erreicht. Gemäß den Kriterien aus Abschnitt 4 ist Messung 7_10 als nicht bestanden anzusehen.

Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Messung an der Solaranlage mit Zwangsdurchströmung mit Zusatzheizung. Der für die dargestellten solaren Deckungsgrade, berechnet aus den nach /3/ bestimmten Systemkennwerten, liegt der Median bei 45.4 %. Insgesamt wurden 10 Messungen durchgeführt. Eine erfolgreiche Teilnahme ($|Z| \leq 2$) wurde im vorliegenden Fall mit solaren Deckungsgraden zwischen 41.5 % und 49.3 % (entsprechend ± 3.9 %-Punkten) von allen Messungen mit Ausnahme von 5_11 erreicht. Gemäß den Kriterien aus Abschnitt 4 ist Messung 5_11 als nicht bestanden anzusehen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Von den hier vorgestellten 152 Einzelergebnissen des Europäischen Ringversuchs wurden 140 (92 %) als erfolgreich teilgenommen, 9 (6 %) als fragwürdig und lediglich 3 (2 %) als durchgefallen bewertet. Dieses Ergebnis wird vom Institut für Eignungsprüfung als sehr gut bezeichnet. Die Streuung der Ergebnisse repräsentiert hierbei die Unsicherheit mit der die teilnehmenden akkreditierten Prüfinstitute in der Lage sind mit Hilfe der aktuellen Prüfnormen die beschriebenen Größen zu bestimmen.

Nicht unerwartet, aber dennoch bemerkenswert ist die Tatsache, dass im Fall der Kollektoren mit allen drei zulässigen Verfahren (stationär indoor, stationär outdoor und quasi-dynamisch) und unabhängig vom Standort für die zwei Kollektortypen ähnliche Ergebnisse ermittelt wurden und keines der Verfahren zu „besseren“ bzw. „schlechteren“ Werten führt.

Die Analyse der Ergebnisse verdeutlicht ebenfalls, dass die Messungen an den gebrauchten Prüflingen im zweiten Jahr des Ringversuchs zu ähnlichen Ergebnissen führt. Dies belegt, dass die gewählte Vorgehensweise richtig war und in Zukunft wieder Anwendung finden kann, um die Zeiten für Ringversuche zu verkürzen.

Die als durchgefallen gewerteten Ergebnisse werden von den Teilnehmern in den nächsten Wochen noch im Detail untersucht, um die Ursachen zu bestimmen und geeignete Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Das QAISt Projekt trägt mit dem hier vorgestellten Europäischen Ringversuch somit erheblich zu einer weiteren Verbesserung der teilnehmenden Prüfinstitute bei.

Quellen:

- /1/ EN12975, 2006: EN 12975-2:2006. 2006a. Thermal Solar Systems and Components – Solar Collectors – Part 2: Test Methods.
- /2/ EN12976, 2006: EN 12975-2:2006. Thermal solar systems and components - Factory made systems - Part 2: Test Methods
- /3/ ISO 9459-5:2007 “Solar heating - Domestic water heating systems - Part 5: System performance characterization by means of whole-system tests and computer simulation
- /4/ DIN ISO 13528:2009, Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche. Beuth Verlag, Berlin, Januar 2009
- /5/ DIN EN ISO/IEC 17043:2010, Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen. Beuth Verlag, Berlin, Mai 2010
- /6/ PTPM 1.1, Guide to Proficiency Testing Australia, PTA. Australia, April 2008

Danksagung:

Die im Beitrag beschriebenen Arbeiten wurden teilweise durch die Europäischen Kommission im Rahmen des Programms „Intelligent Energy Europe“ unter dem Förderkennzeichen IEE/08/593 gefördert. Die Autoren bedanken sich für die

Unterstützung und übernehmen die vollständige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags.