

Monitoring von solarthermischen Großanlagen aus den Förderprogrammen Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus

Mario Adam, Fabian Ille, Jonas Gottschald, Hans Peter Wirth
Hochschule Düsseldorf, Münsterstraße 156, 40476 Düsseldorf
Tel.: 0211 4351-3250, Fax: , -19502
E-Mail: hanspeter.wirth@hs-duesseldorf.de
Internet: <http://zies.hs-duesseldorf.de>

1. Einführung und Motivation

Thermische Solaranlagen werden häufig nur zu Beginn ihres Betriebs detailliert analysiert. Die meisten Langzeituntersuchungen stützen sich entweder auf Einzelanalysen oder auf Laborverfahren zur beschleunigten Alterung.

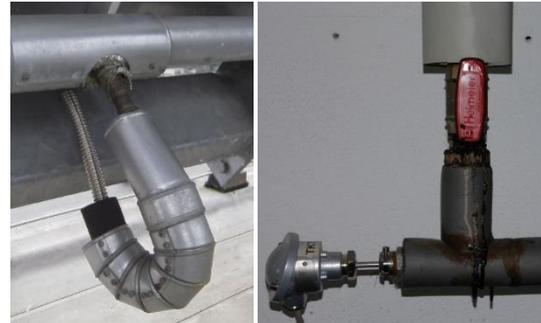
Vor diesem Hintergrund wurde das vom BMWi geförderte Forschungsprojekt „Langzeitstudie zum Betrieb und zur Leistungsfähigkeit großer Solaranlagen aus dem Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus Programm“ durchgeführt. Mehr als drei Viertel der in den beiden Programmen geförderten 76 Anlagen sind mittlerweile über 10 Jahre in Betrieb, die ältesten bereits 21 Jahre. Das Projekt umfasste eine Betreiberbefragung zu allen Anlagen und für 10 ausgewählte Anlagen mit Betriebszeiten über 10 Jahren ein einjähriges Monitoring mittels der bereits eingebauten hochauflösenden Messtechnik. Die Ergebnisse geben Antworten auf Fragen nach Langlebigkeit, Zuverlässigkeit und langfristigem Ertrag von großen thermischen Solaranlagen.

2. Begehung von ausgewählten Solarthermie-2000(plus)-Anlagen

Unter den zehn am Monitoring teilnehmenden Anlagen waren sechs zur Trinkwarmwassererwärmung, eine zur Netzeinspeisung sowie drei Anlagen zur Trinkwarmwasser- plus Zirkulationserwärmung. Die Anlagen verteilen sich auf folgende Objekte: vier Krankenhäuser (KH), drei Wohngebäude/-gebiete (WGB), zwei Pflegeheime (PH) und ein öffentliches Schwimmbad (SB). Die Auswahl bildet in etwa den Querschnitt über alle Anlagen des ST2000(plus)-Programms ab. Bei den für das Monitoring ausgewählten Anlagen wurden Anlagenbesichtigungen durchgeführt.

Optisch waren die Kollektorfelder bei den meisten Anlagen in einem dem Alter entsprechenden guten Zustand, vgl. Abbildung 1 links. Eine feststehende Verschmutzung auf dem unteren Teil der Glasabdeckung wurde bei zwei Anlagen und eine großflächige Verschmutzung bei einer Anlage festgestellt, daneben trat vereinzelt Tierfraß an der Dämmung auf. Leichte Beschädigungen der Verrohrung (z.B. weggerostete Halterung) oder offene Isolierungen kamen ebenfalls vereinzelt vor. An der konventionellen Technik waren oft kleinere Fehler feststellbar, wie defekte Ventile und Pumpen oder offene Isolierungen (siehe Abbildung 1 rechts) bis hin zum bis zur Begehung unerkannten Komplettausfall eines ganzen Entladekreises. Derartige

betriebsbeeinträchtigende Fehler betrafen vor allem drei Anlagen, die anderen wiesen nur leichte Unzulänglichkeiten oder überhaupt keine Fehler auf. Ein direkter Zusammenhang zwischen Anlagenzustand und regelmäßiger Wartung kann nicht gezogen werden, da sowohl fehlerfreie Anlagen als auch zwei der drei Anlagen mit den größeren Fehlern regelmäßig gewartet werden. Vor dem Monitoring wurden die erkannten Fehler den Betreibern angezeigt, aber nur teilweise behoben.



Zu geringer Biegeradius im Wellrohr (li.), defektes Ventil (re.)

Abbildung 1 Vorgefundene äußerliche Kollektorzustände bei Besichtigung (links), Beispiele für Schäden an der konventionellen Technik (rechts)

3. Ergebnisse des Anlagenmonitorings

Nach Anlagenbegehung und der Überprüfung sowie Instandsetzung der Messtechnik wurde die Funktion der Solaranlagen ausgewertet und überwacht. Zwei Anlagen liefen völlig fehlerfrei. In den anderen acht Anlagen traten Fehlfunktionen auf. Deren Aufteilung auf die einzelnen Anlagenteile zeigt Abbildung 2. Die meisten Fehler betrafen den Entladekreis: Fünfmal war es ein technischer Defekt (defekte Pumpe, Ventil, MAG oder Lufteinschlüsse) und dreimal waren es ungünstig eingestellte Entladeregelungen oder fehlende Regelungssensoren, die zu schlechten Entladeleistungen führten. Am zweithäufigsten führten Undichtigkeiten am Kollektorkreis (Entlüftergruppe, Wellrohr, Verschraubungen) und dem damit einhergehenden Druckabfall zu Ertragseinbußen und Betriebsausfällen. Am speicherseitigen Beladekreis traten vorwiegend Einstellungsfehler wie nennenswerte Abweichungen vom Nennvolumenstrom auf.

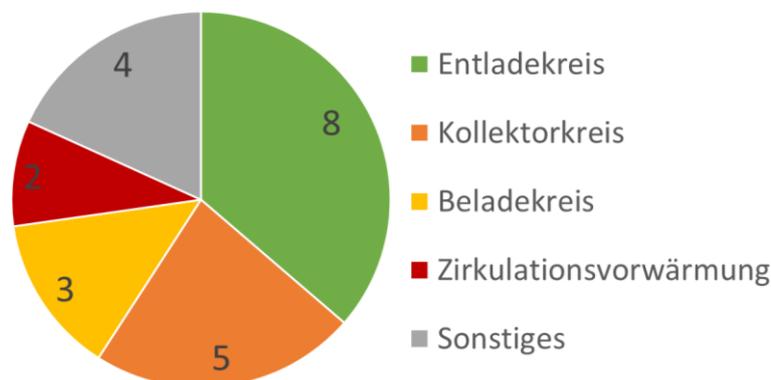


Abbildung 2 Aufteilung der während des Monitorings aufgetretenen Betriebsfehler

Solarerträge und Nutzungsgrade

Tabelle 1 zeigt für alle 10 Anlagen den gemessenen und über die Betriebszeit der jeweiligen Anlage gemittelten jährlichen Solarertrag („im Mittel“), den gemessenen Solarertrag im ersten Betriebsjahr („1. Jahr“) und den Quotienten aus beiden Werten („Relation“). Sechs Anlagen erreichen relative Werte von über 90%. Die beiden „Best-Case“-Anlagen übertreffen mit Mittelwerten von 106% und 110% sogar den Ertragswert im 1. Jahr über mehrere Jahre, siehe auch Abbildung 3. Eine der beiden Anlagen wird von einem Stadtwerk betrieben, welches die Wärme an die angeschlossenen Kunden verkauft und die Anlage deshalb dauerhaft überwacht und auf optimalen Betrieb achtet.

Tabelle 1 Ergebnisse des Monitorings (WÜ = Wärmeübertrager)

Objekt	KH	KH	KH	KH	WGB	WGB	WGB	PH	PH	SB
Alter in Jahren	16	19	17	16	20	10	14	20	20	14
Wartung	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Solarertrag real:										
- im Mittel MWh/a	61	40	54	30	47	181	56	91	32	42
- 1. Jahr MWh/a	68	44	64	32	57	171	62	83	41	56
- Relation	90%	91%	84%	94%	82%	106%	90%	110%	78%	75%
Zustand von:										
- Kollektor	+	++	-	-	+	+	+	+	0	+
- Belade-WÜ	0	+	-	-	-	-	-	-	+	-
- Entlade-WÜ		+	+		+			+		0
Ertragsbewertung										
- 1. Jahr		96%					90%	99%		
- 2015/16		96%					85%	102%		
Wärmepreis:										
- im Mittel ct/kWh	16,1	15,9	17,2	19,3	15,3	17,2	13,3	14,9	17,8	19,3
- Prognose ct/kWh	10,2	12,7	13,1	10,9	13,1	17,6	12,3	12,1	11,2	12,5
- Relation	158%	125%	131%	177%	117%	98%	108%	123%	159%	154%
Gesamtergebnis	+	++	-	--	+	++	+	++	0	0

Abbildung 3 zeigt für drei der zehn Anlagen den Verlauf der „Relationen“ ab Betriebsbeginn bis heute, in denen sich neben Alterungserscheinungen auch Änderungen der Nutzlasten und der Witterung, Reparaturen, Umbauten etc. widerspiegeln. Neben der „Best-Case“-Anlage laufen zwei weitere Anlagen durchgängig gut. Der „typische Anlagenverlauf“ steht repräsentativ für sechs der zehn Anlagen bei denen der Solarertrag über die Jahre unter Schwankungen z.B. aufgrund von Laständerungen etwas abnimmt. Die Schwankungen entstanden in der Regel durch schleichend auftretende Betriebsfehler (z.B. Druckabfall im Kollektorkreis) mit anschließender Reparatur. Die „Worst-Case“-Anlage weist nach dem 4. Betriebsjahr nahezu durchgängig zurückgehende Anlagenerträge auf, unter anderem aufgrund einer Umbaumaßnahme (Ausbau des Vorwärmerspeichers) und einer stark gesunkenen Auslastung (Wärmelast des Objekts wie Warmwasser- und ggf. Heizwärme bezogen auf die Kollektorfläche).

Denn in fünf Fällen ist die Auslastung seit der Inbetriebnahme gesunken. Im Extremfall 55%, sonst zwischen 23% und 38%. Ursächlich waren in zwei Fällen (zwei

Krankenhäuser) Laständerungen durch Umbindungen im Wärmeverteilnetz oder Fachbereichsänderungen. An vier der übrigen fünf Anlagen blieb die Auslastung unter Schwankungen relativ konstant (<10%). Die Auslastung der letzten Anlage nahm aufgrund gestiegener Bewohnerzahlen auf 128% zu.

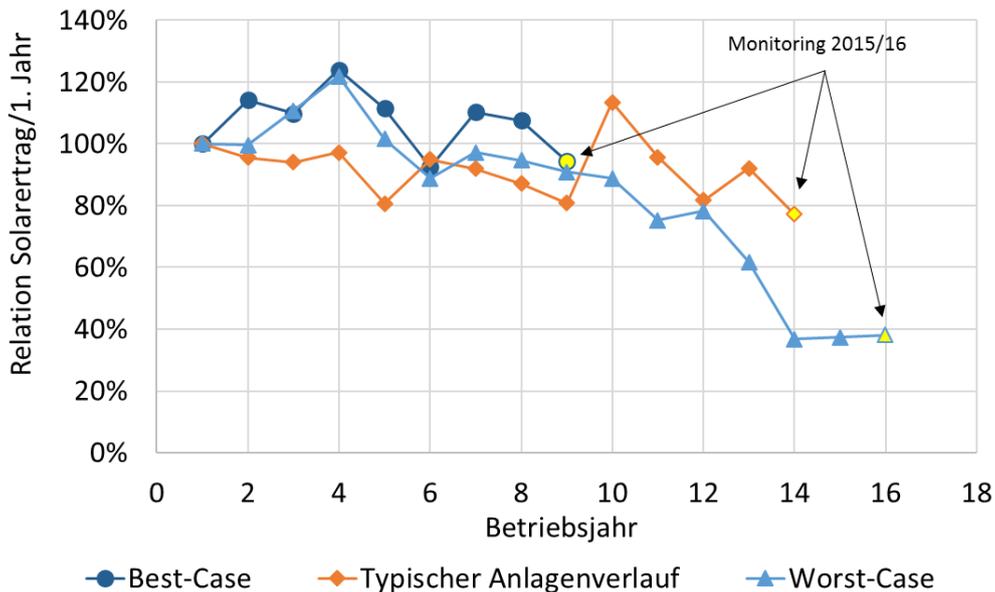


Abbildung 3 Jährlicher Solarertrag der besten, der schlechtesten und einer typischen Anlage im Verhältnis zum Ertrag im 1. Betriebsjahr

Analog zum Solarertrag verhält es sich mit dem Kollektor- bzw. Systemnutzungsgrad. Drei der vier Anlagen mit konstanter Auslastung erzielten während ihrer Betriebszeit auch einen konstanten Nutzungsgrad. Bei der vierten Anlage nimmt der Nutzungsgrad trotz konstanter Auslastung unter Schwankungen seit Inbetriebnahme kontinuierlich ab. Als Gründe sind häufige und länger andauernde Betriebsfehler vor allem im Kollektorkreis (Druckabfall) und der Entladeregelung zu nennen. Auch sind vor allem an dieser Anlage großflächig festsitzende Verschmutzungen an den Kollektoren anzutreffen, ein Resultat des geringen Aufstellwinkels von 15° und den damit einhergehenden unzureichenden Selbstreinigungseffekten. Die anderen sechs Anlagen, bei denen der Nutzungsgrad abnimmt, weisen auch eine unter den typischen Schwankungen sinkende Auslastung auf.

Betrachtet man die Jahres-Einzelwerte allgemein, so zeigt die Hälfte der 10 Anlagen nach dem dritten Betriebsjahr einen Abwärtstrend im Solarertrag und Nutzungsgrad. Ein Zusammenhang mit dem gleichzeitigen Ende der Anlagenbetreuung im Rahmen der ST2000(plus)-Projekte ist naheliegend.

Fazit aus diesen Langzeitbetrachtungen ist, dass gravierende Leistungseinbußen an den Solaranlagen dann entstanden, wenn unsachgemäße Umbauten vorgenommen wurden, Lasten wegfielen oder nennenswerte Alterungserscheinungen und Betriebsfehler nicht erkannt oder nach Erkennung nicht behoben wurden.

Kaum Alterungserscheinungen

Um bei Langzeitbetrachtungen den Einfluss von Nutzlast und Witterung auf den Solarertrag rechnerisch zu eliminieren, wurde bei drei Anlagen für das Monitoringjahr 2015/16 nochmals die Garantierechnung nach dem im ST2000-Programm entwickelten Verfahren durchgeführt /1, 2/. Dabei erfolgt eine T*SOL-Simulation für die Anlage mit den gemessenen Klima- und Lastprofilen als Input sowie den technischen Daten der Anlage (Kollektorkenngößen laut Hersteller, Speichervolumina etc.). Das Ergebnis der Garantieberechnung, der Quotient aus gemessenem und simuliertem Ertrag (normiert auf den Prognosewert des Anlagenbauers), ist in Tabelle 1 für das 1. Betriebsjahr und das Monitoring 2015/16 dargestellt (siehe „Ertragsbewertung“). Zwei der drei untersuchten Anlagen erzielen für 2015/16 sehr gute Ergebnisse von 96% (19 Jahre alt) und 102% (20 Jahre alt), die dritte zufriedenstellende 85% (14 Jahre alt). Noch interessanter als die absoluten Werte ist der Vergleich mit dem 1. Betriebsjahr. Bei zwei Anlagen ist das Ergebnis nach 19 bzw. 20 Betriebsjahren gleich hoch bzw. etwas besser, bei einer der Anlagen verschlechtert es sich nach 14 Jahren von 90% auf 85%. Fazit dieser Betrachtung: Bei den analysierten drei Anlagen spielt ein Leistungsabfall aufgrund von Alterungserscheinungen keine bzw. eine untergeordnete Rolle.

Wärmepreis

Schlussendlich spiegelt sich der erzielte Solarertrag jeder einzelnen Anlage auch im Wärmepreis wider. Für die vom ST2000-Programm geförderten Solaranlagen nur zur Trinkwassererwärmung waren seinerzeit Grenzkosten von 13,0 ct/kWh vorgegeben. Bei den Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung im Nachfolgeprogramm Solarthermie2000plus wurden unterschiedliche Dimensionierungsansätze, die zu niedrigeren oder höheren solaren Deckungsanteilen am Gesamtwärmebedarf führen können, zugelassen. Es wurden daher Grenzwertkurven erarbeitet, die sowohl den solaren Deckungsanteil als auch die Systemgröße (Kostendegression mit wachsender Systemgröße) berücksichtigten /1/.

Eine der „Best-Case“-Anlagen unterschreitet als Einzige im Feld den prognostizierten Wärmepreis (Grenzwert nach dem Verfahren in ST2000plus (s.o.) hier 18,0 ct/kWh). Die anderen Anlagen liegen im Mittel um bis zu 40% über den Prognosewert. Diese teils deutlichen Überschreitungen sind oft auf mehrere Gründe zurückzuführen: Häufig lag die erwartete/prognostizierte Auslastung, teils bis zu 200%, über dem tatsächlichen Wert. Hinzu kommt bei vielen Anlagen eine über die Zeit zurückgehende Auslastung, unsachgemäße Umbauten oder länger andauernde Betriebsfehler.

Schwankende Wartungsqualität

Wie oben bereits angesprochen, bedeutet eine regelmäßige Wartung einer Anlage nicht automatisch einen technisch optimalen Zustand und hohe Solarerträge. So erreichte eine ungewartete Anlage in 19 Jahren Betrieb trotzdem 91% des Ertrages im ersten Betriebsjahr. Umgekehrt finden an zwei der ertragsschwächsten Anlagen im Monitoring jährlich Wartungen durch eine Fachfirma statt. Die Aussage eines Betreibers gibt einen Hinweis auf einen möglichen Grund: Er wechselte die Fachfirma aufgrund „geringer Wartungsqualität“. Ein weiterer Grund könnte das Fehlen einer einheitlichen Wartungs-/Inspektionsprozedur sein. Ähnliche Erfahrungen wurden auch in /4/ beschrieben. Anders als bei Heizungsanlagen gibt es für die Wartung von solarthermischen Anlagen keine gesetzliche Regelung. Neben einzelnen Herstellern hat aber der Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) bereits im März 2011 ein Informationsblatt /3/ zu diesem Thema herausgegeben.

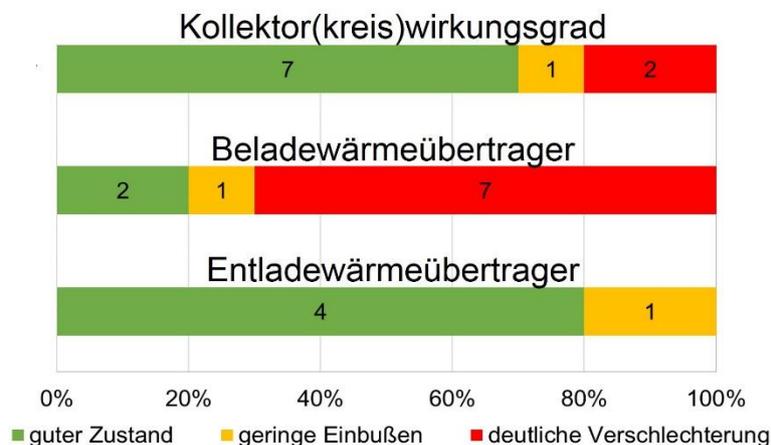


Abbildung 4 Änderungen im Wirkungsgrad respektive in der Leistungsfähigkeit seit Inbetriebnahme

Der Vergleich der Wärmeübertragerleistung bei Inbetriebnahme mit Daten aus 2016 zeigt, dass der Kollektorkreis eine besondere Aufmerksamkeit bei der Wartung bedarf. Denn in acht von zehn Fällen hat der Beladewärmeübertrager seit Inbetriebnahme hauptsächlich aufgrund von Verschmutzung an Leistungsfähigkeit eingebüßt, vgl. Abbildung 4. Das ist erkennbar an einem über die Jahre hinweg sinkenden k_A -Wert bzw. an einer steigenden logarithmischen Temperaturdifferenz bei gleichen übertragenen Leistungen und Volumenströmen. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 5.

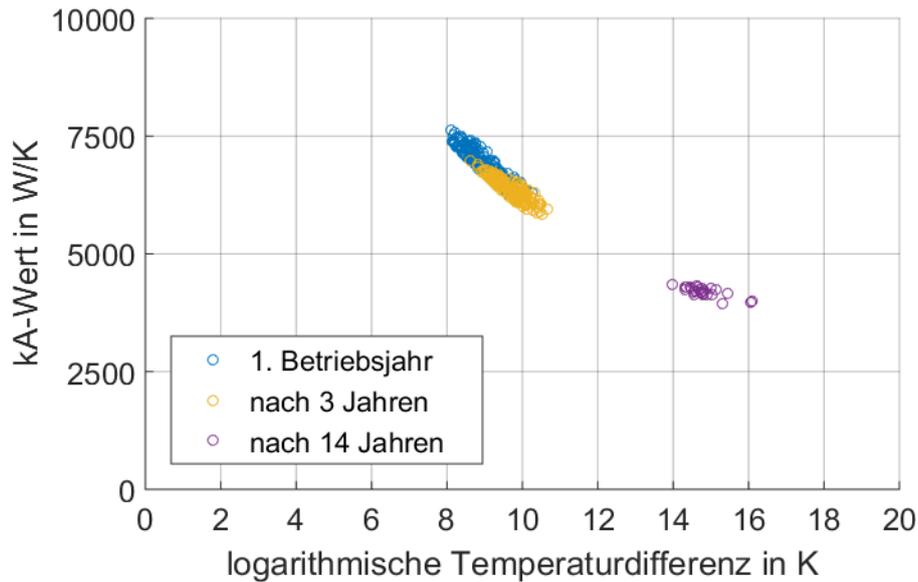


Abbildung 5 kA-Wert über der logarithmischen Temperaturdifferenz am Beladewärmeübertrager von einer der 10 Anlagen

Um eine bedarfsorientierte Wartung eines Wärmeübertragers durchführen zu können, ist demnach eine entsprechende Mindestmesstechnik und Systemüberwachung notwendig. Im Zuge einer Revision des Kollektorkreises hätte sich in sechs der zehn untersuchten Anlagen ebenso eine Überprüfung der Entlüftergruppen (Entlüfter + Absperrventil im Kollektorkreis), der Rohrisolierung sowie eine Reinigung der Kollektoren empfohlen.

Beim Entladekreis verhielt es sich anders. Hier gab es nur vereinzelt Wartungsbedarf an den Komponenten (Wärmeübertrager, Rohre, Pumpen etc.), dafür aber häufigere Unzulänglichkeiten in der gewählten Regellogik und an den Reglereinstellungen.

Zuverlässige Solartechnik

Im Gesamtergebnis zeigt das Projekt, dass Solaranlagen technisch in der Lage sind, 20 Jahre und länger einen konstant hohen Solarertrag zu liefern. Es konnte insbesondere die Zuverlässigkeit, hohe Haltbarkeit und das dauerhafte Leistungsvermögen von Solarkollektoren gezeigt werden. Analog zu den Erfahrungen aus dem ST2000-Programm wurde die eher konventionelle Technik als ein neuralgischer Punkt bestätigt, dem man Aufmerksamkeit widmen sollte. Grundsätzlich bedarf es für einen langfristig guten Betrieb und damit dauerhaft hohen Solarertrag vor allem zwei Dinge: Einen interessierten Betreiber/Techniker und eine Systemüberwachung zur frühzeitigen Fehlererkennung und Ertragskontrolle, oder alternativ eine qualitativ hochwertige, möglichst gezielte Wartung. (s.a. /4/)

Danksagung

Dass dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 0325551A aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt ausschließlich bei den Autoren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- /1/ R. Croy, M. Mies, U. Rehrmann und H. Wirth, „Abschlussbericht zum Projekt 032 9601 Q gefördert mit Mitteln des BMU, Teil 3: Organisationsstruktur und Ergebnisstatistik,“ Februar 2011.
- /2/ VDI-Richtlinie 2169, 10.2012: Funktionskontrolle und Ertragsbewertung an solarthermischen Anlagen.
- /3/ Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.: Informationsblatt Nr. 44: Thermische Solaranlagen – Dokumentation von Übergabe und Inspektion. März 2011
- /4/ Praktischer Betrieb solar-thermischer Systeme zur Brauchwassererwärmung im Geschosswohnungsbau,
Holger Müller, Christoph Trinkl, Wilfried Zörner, Hochschule Ingolstadt,
22. Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11. Mai 2012 in Kloster Banz, Bad Staffelstein