

Funktionskontrolle solarthermischer Großanlagen auf Basis von Langzeitmonitoring durch die Hochschule Offenburg

Eva Scheck, Elmar Bollin, Klaus Huber, Daniel Jödicke
Forschungsgruppe net an der Hochschule Offenburg
Badstraße 24, 77652 Offenburg
Tel.: 0781 205 362, 0781 205 336
eva.scheck@fh-offenburg.de; klaus.huber@fh-offenburg.de
www.fh-offenburg.de/mv/st2000

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprogramms Solarthermie-2000 und dessen Folgeprogramm Solarthermie2000plus des Bundesumweltministeriums begleitet die Hochschule Offenburg seit 1999 solarthermische Großanlagen in Südwestdeutschland. Die wissenschaftlich-technische Betreuung umfasst die Projektbegleitung von der Projektidee über die Realisierung bis hin zur Überprüfung der vom Lieferanten garantierten Anlagenwerte über mindestens zwei Intensiv-Messjahre.

Bei den durch die Hochschule Offenburg betreuten solarthermischen Großanlagen wurde in den ersten Jahren nach der Inbetriebnahme der Großteil der Optimierungspotenziale analysiert und durch die abgeleiteten Maßnahmen eine Anlagenoptimierung erreicht. Um jedoch einen nachhaltigen Anlagenbetrieb mit gleichbleibend hohem solarem Ertrag über die gesamte Betriebszeit der solaren Großanlagen zu erreichen, ist eine kontinuierliche Funktionskontrolle unerlässlich.

Im folgenden Beitrag und auf dem Poster werden die wichtigsten Ergebnisse aus zehn Jahren Anlagenbetreuung beschrieben. Zudem werden die wesentlichen Betriebsstörungen erläutert, die bei der nachhaltigen Funktionskontrolle erkannt und behoben wurden.

1 Einleitung

Zu Beginn der Anlagenbetreuung vor 10 Jahren lag der Anwendungs-Schwerpunkt für solarthermische Großanlagen bei der Trinkwassererwärmung. Bei den heutigen Demonstrationsanlagen liegt das Hauptaugenmerk auf der weiterreichenden Nutzung solarthermischer Großanlagen zum Heizen und Kühlen sowie zur Erzeugung von Prozesswärme.

Von der Forschungsgruppe net an der Hochschule Offenburg werden aktuell neun Solargroßanlagen begleitet. Fünf dieser Anlagen werden ausschließlich zur Trinkwassererwärmung eingesetzt. Bei einer weiteren Anlage wird zusätzlich Schwimmbadwasser erwärmt. Von den drei jüngsten Anlagen speist eine in ein Nahwärmenetz

eines Wohngebietes ein und nutzt so die Solarwärme zum Heizen und zur Trinkwassererwärmung. Die anderen beiden Anlagen speisen die solar erzeugte Wärme in das Heizungssystem des Unternehmens und nutzen sie zur Raumheizung und zur Kältegewinnung. Zwei neue Anlagen zur Kälteerzeugung im kleineren Leistungsbe- reich sind in der Planungsphase.

2 Erfahrungen und Optimierungsmaßnahmen der ersten Betriebs- jahre

In den nunmehr 10 Jahren Anlagenbetreuung und Langzeitmonitoring hat die Hoch- schule Offenburg kontinuierlich das Verhalten der verschiedenen Solargroßanlagen aufgezeichnet und analysiert. Mit dem von der Hochschule Offenburg konzipierten und umgesetzten Messsystem werden an Hand charakteristischer Anlagendaten die Energieströme innerhalb der Solaranlage und über die Systemgrenzen hinweg er- fasst. Mit Hilfe der detaillierten Datenauswertung in den ersten beiden Intensiv- Messjahren wurden die Ursachen für viele Anlagenstörungen erkannt und daraus etliche Optimierungsmaßnahmen abgeleitet. Die Umsetzung dieser Optimierungs- maßnahmen haben Anlagenparameter wie den solaren Ertrag wesentlich verbessert.

Bei den fünf Anlagen zur solaren Trinkwassererwärmung wurden zwei unterschiedli- che Systemschaltungen realisiert. Vier Anlagen haben im Trinkwasserkreis einen Vorwärmespeicher eingebaut, der den Zapfvolumenstrom vom Volumenstrom der Vorwärmespeicherbeladung entkoppelt. Bei der Anlage mit Direkterwärmung strömt das Trinkwasser direkt durch einen Wärmeübertrager, über den es Solarwärme aus dem Pufferspeicherkreis aufnimmt; ein Vorwärmespeicher ist dabei nicht vorgese- hen. Die Messergebnisse haben gezeigt, dass die Systemschaltung mit Trinkwasser- Vorwärmespeicher gegenüber der Systemschaltung mit Direkterwärmung den Nach- teil der niedrigeren Anlageneffizienz aufweist. Der Grund hierfür sind die höheren Rücklauftemperaturen vom Entladewärmeübertrager in den Solarpufferspeicher. Diese werden einerseits durch die Erwärmung des Vorwärmespeichers und ander- seits durch die meist höheren Vorwärmespeichertemperaturen verursacht. Da beim Direktsystem zudem ein Trinkwasserbehälter, die Legionellenschaltung und eine zu- sätzliche Pumpe entfallen können, ist die Systemschaltung mit Direkterwärmung der Schaltung mit Vorwärmung vorzuziehen.

Im Nahwärmenetz eines Wohngebietes in Holzgerlingen dient die solarthermische Großanlage als Wärmeerzeuger. Mit der Solarwärme wird das in Pufferspeichern zwischenspeicherte Heizungswasser aus dem Netz vorgewärmt und anschließend von einem Holzpelletskessel auf Solltemperatur nachgeheizt. Beim Nahwärmesys-

tem Holzgerlingen wurden für die Wärmeübertragung bei den Kunden soweit möglich Wärmeübergabestationen mit Trinkwassererwärmung im Direktdurchfluss eingesetzt. Es kommen jedoch auch indirekte Wärmeübergabestationen mit Pufferspeicher zum Einsatz. Die Raumheizung erfolgt im Direktdurchfluss, wodurch eine niedrige Rücklauftemperatur erzielt werden soll.

Bei der Einbindung einer Solaranlage in ein Nahwärmenetz hängt der Systemnutzungsgrad wesentlich von der realisierten – möglichst niedrigen – Rücklauftemperatur ab. Hierfür spielt die Auswahl der Wärmeübergabestationen eine entscheidende Rolle. Im nördlichen Teilnetz wurden für die Einfamilienhäuser ausschließlich Stationen zur direkten Trinkwassererwärmung, im südlichen Teilnetz auch Stationen mit Speicherladesystem für die Mehrfamilienhäuser installiert. Im südlichen Teilnetz können dabei wider Erwarten niedrigere Rücklauftemperaturen realisiert werden. Die Ursache hierfür konnte nicht abschließend geklärt werden, da der Zugang zu den Stationen nur eingeschränkt möglich ist und diese auch nicht messtechnisch erfasst werden können.

Zwei Solaranlagen werden als Wärmequelle für die Klimatisierung von Gebäuden eingesetzt. In diesem Anwendungsfall ist die Gleichzeitigkeit von solarem Wärmeangebot und Kühlbedarf ein großer Vorteil. Im Winter, wenn keine Klimatisierung benötigt wird, wird die Solarwärme in das Heizungssystem eingespeist. Durch diese doppelte Nutzung der solar erzeugten Wärme wird ein niedrigerer Solarwärmepreis realisiert als bei ausschließlicher Nutzung zur Klimatisierung.

Die Solarwärme wird über einen Heizungsverteiler, an den neben den Adsorptionskälteanlagen auch andere Wärmeverbraucher angeschlossen sind, an die Verbraucher abgegeben. Dadurch kann die Solarwärme bedarfsgerecht zu Heiz- oder Kühlzwecken eingesetzt werden. Zur Steigerung des Nutzungsgrades des Solarsystems wird bei der Solaranlage zur Klimatisierung bei der Fa. Festo AG in Esslingen zusätzlich auf einem niedrigeren Temperaturniveau direkt in eine Bauteilaktivierung eines angeschlossenen Gebäudes eingespeist.

Bei fast allen solarthermischen Großanlagen bereitet zu Beginn des Anlagenbetriebes die Be- und Entladung der Pufferspeicher Schwierigkeiten. Die Ursachen für die aufgetretenen Probleme sind vielschichtig.

In der Regel werden bei solarthermischen Großanlagen mehrere Speicher zum Puffern der Solarwärme eingesetzt. Diese Speicher können hydraulisch unterschiedlich verschaltet werden. Werden die Speicher hydraulisch parallel verschaltet, so muss der hydraulische Abgleich sehr genau vorgenommen werden. Häufig kommt es bei dieser Verschaltungsart zu ungleichmäßigen, ungewünschten Strömungsverhältnis-

sen. Die Konsequenz daraus ist, dass sich in den Speichern keine optimale Temperaturschichtung ausbilden kann. Die Reihenschaltung der Speicher führt in der Regel zu ausgeprägter Temperaturschichtung und kommt im Idealfall mit wenigen Ventilen aus. In einigen Fällen kommen hier Beladeventile zum Einsatz, die es ermöglichen gezielt einzelne Speicher direkt anzufahren, indem sie andere Speicher umgehen. Man kann sich diese hydraulische Verschaltung im Idealfall wie in Abbildung 2.1 vereinfacht dargestellt auch als einen hohen schmalen Pufferspeicher vorstellen im Vergleich zur Parallelschaltung als einen breiten niedrigen Behälter.

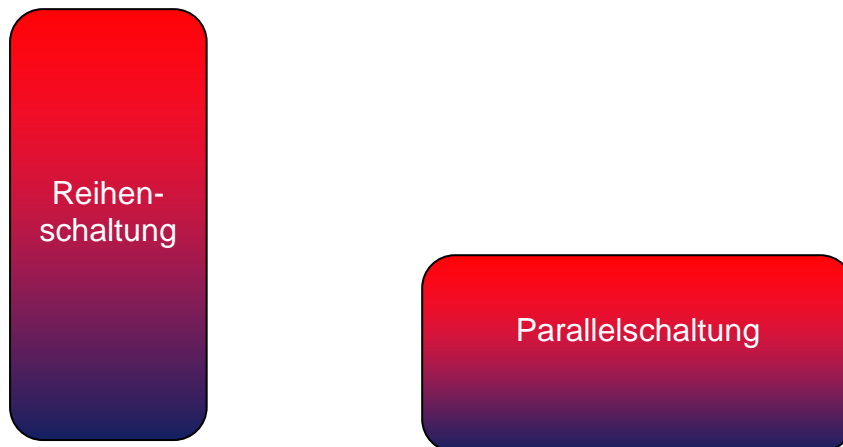


Abb: 2.1: Schematische Darstellung der Reihenschaltung (links) und der Parallelschaltung (rechts) von Pufferspeichern

Eine andere Ursache für die Probleme bei der Speicherbeladung liegt in der fehlerhaften Regelung des Pufferspeicher-Beladeventiles und dem zu frühen Ausschalten der Beladepumpe. Auch ungünstige Rohrleitungsanschlusspositionen können zu unerwünschten Strömungsverhältnissen in den Speichern führen.

Bei mehreren Anlagen treten Störungen im Zusammenhang mit der Legionellenschaltung der Vorwärmespeicher auf. Es gibt sowohl den Fall des Dauerbetriebes der Legionellenschaltung als auch den des vollständigen Ausfalls der Legionellenschaltung.

Auch treten an Anlagen Undichtigkeiten im Kollektorfeld und Verfärbungen an den Absorberblechen der Kollektoren auf.

Die Regelfühler für die Messung der Kollektoraustrittstemperatur sind bei einigen Großanlagen die Ursache für regelungstechnische Anlagenstörungen. Aufgrund von fehlender oder zu schwacher Schwerkraftbremse kommt es in der ein oder anderen Anlage zu unerwünschten thermosyphonischen Strömungen.

Einen häufigen Schwachpunkt stellen in den Anlagen defekte oder fehlerhaft umschaltende Ventile dar sowie fehlerhaft arbeitende Pumpen. Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass bei der Anlagenplanung ein Konzept mit möglichst wenigen ein-

gebauten bewegten Teilen verfolgt werden sollte, um so präventiv Anlagenstörungen zu vermeiden und einen hohen Anlagennutzungsgrad zu realisieren.

3 Ergebnisse der Funktionskontrolle

Die Hochschule Offenburg führt mit Anlagenbetreibern im Rahmen eines Langzeitmonitorings Schwachstellenanalysen durch und sorgt somit dauerhaft für einen effizienten Anlagenbetrieb. Für diese Langzeit-Anlagenbetreuung werden die aus dem ST2000-Vorhaben vorhandenen Messstellen und Datenerfassungsgeräte genutzt und weiterhin kontinuierlich als Halbstundenmittelwerte erfasst. Die Auswertezwischenräume werden auf Monatsperioden vergrößert und in Form einer Auswerterroutine auf Basis von Benchmarks evaluiert. In die Schwachstellenanalysen fließen auch die Erfahrungen aus dem systematischen Anlagenvergleich über ein Jahrzehnt ein. Im Team mit Betreiber, Planer und ausführendem Unternehmen wird so langfristig ein wirtschaftlicher Betrieb der Solaranlage möglich.

Während der langjährigen Betreuung hat sich deutlich gezeigt, dass für Solargroßanlagen die kontinuierliche qualifizierte Begleitung auch über die Intensiv-Messphasen hinaus ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist.

Für die Funktionskontrolle werden Schwachstellenanalysen anhand von Carpetplots vorgenommen. In dieser Darstellungsform kann man die Messdaten übersichtlich gegenüberstellen und vergleichen. Unregelmäßigkeiten und Auffälligkeiten in den Messdaten sind gut erkennbar. Ausgewählte Messstellen an denen typischerweise Schwachstellen entstehen, werden monatlich analysiert und als Carpetplots in einem Bericht zusammengefasst beschrieben. Bei auftretenden Auffälligkeiten wird die Ursache ermittelt und ein Optimierungsvorschlag für den Anlagenbetreiber gemacht.

Bei allen Anlagen, bei denen aktuell die Funktionskontrolle durchgeführt wird, gab es Ausfälle von Volumenstromsensoren. Ein dauerhafter Pumpenbetrieb bzw. ungleichmäßiger Pumpenbetrieb von Speicherentladekreis und Trinkwasserbeladekreis wurde als auffälliges Betriebsverhalten analysiert.

Als wichtigste Störung wurden häufig unterschiedlich hohe Volumenströme am Speicherentlade-Wärmeübertrager auf der Primär- und der Sekundärseite analysiert. Die Volumenströme differierten um bis zu 1 m³/h. Dies führt neben einer längeren Entladedauer des Pufferspeichers zu höheren Rücklauftemperaturen in den Pufferspeicher, so dass das gesamte Temperaturniveau in den Wärmespeichern angehoben wird. Als Folge davon kann vom Speicherladekreis weniger Wärme aus dem Kollektorkreis aufgenommen werden, so dass der Anlagennutzungsgrad und somit die Effizienz der Gesamtanlage sinkt. (siehe Abb. 3.1)

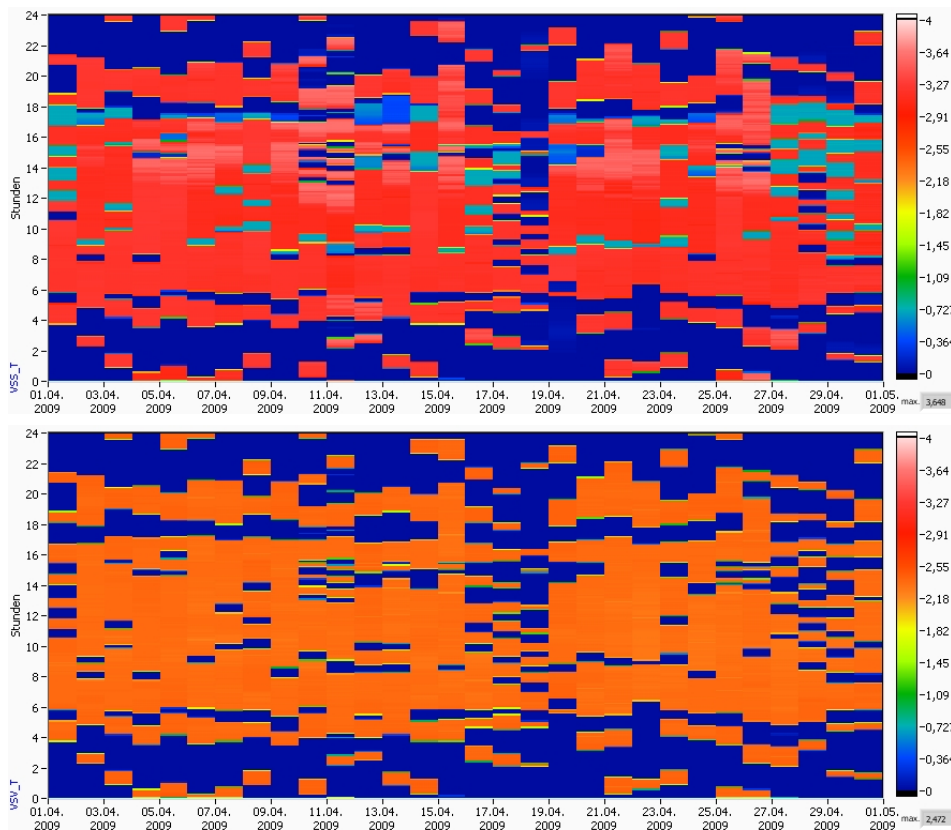


Abb. 3.1: Carpetplots zur Überprüfung der Volumenströme am Wärmeübertrager für die Funktionskontrolle einer solaren Trinkwarmwasseranlage in 2009:
oben: VSS [m³/h] *Volumenstrom Pufferspeicherkreis, Entlade-Wärmeübertrager*
 → Der Volumenstrom liegt zwischen 3 bis 3,6 m³/h
unten: VSV [m³/h] *Volumenstrom Trinkwasserkreis, Entlade-Wärmeübertrager*
 → Die Werte liegen zwischen 2,2 und 2,5 m³/h
 → Aufgrund von Verkalkung im Wärmeübertrager ist VSV im Vergleich zu VSS deutl. kleiner
 → Für optimale Wärmeübertragung sollten VSS und VSV gleich groß sein

Bei einer Anlage wurde am Beladewärmeübertrager eine Temperaturspreizung von mehr als 40K festgestellt.

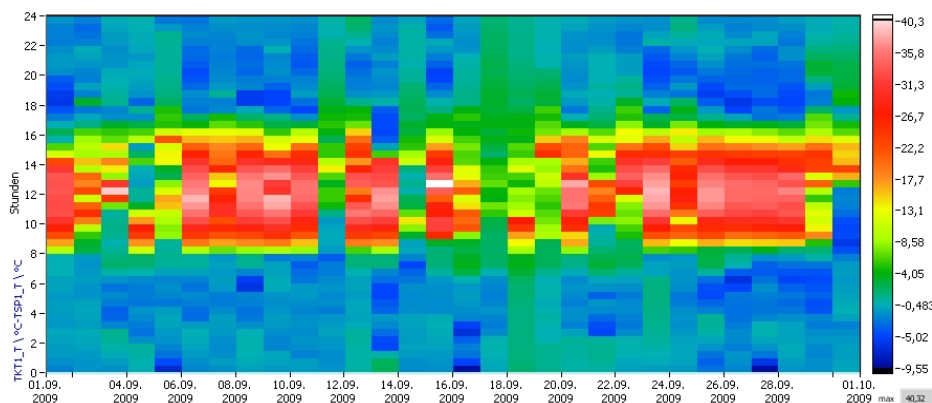


Abb. 3.2: Carpetplot zur Überprüfung der Temperaturspreizung am Wärmeübertrager für die Funktionskontrolle einer solaren Trinkwarmwasseranlage in 2009:
TKT1-TSP1 [K] *Temperaturdifferenz zw. Kollektorkreis Vorlauf und Speicherkreis Vorlauf*
 → Die Temperaturdifferenzen im August erreichten max. Werte in der Mittagszeit bis 40 K.

Auch schleichende Prozesse, wie die Verkalkung oder Verschmutzung von Wärmeübertragern wurden in der Schwachstellenanalyse aufgedeckt.

Wie beschrieben werden mit der regelmäßigen Schwachstellenanalyse ertragsmindernde Störungen an den solarthermischen Großanlagen aufgedeckt. Um jedoch nachhaltig einen hohen Anlagenenertrag zu sichern, ist eine automatisierte Funktionskontrolle erforderlich. Ziel ist deshalb der systematische Aufbau einer Methodik zur automatisierten Funktionskontrolle.

4 Vergleich der solaren Großanlagen anhand Systemkennzahlen

Für eine nachhaltige Funktionskontrolle ist der Vergleich der charakteristischen Anlagen- und Systemkennwerte, das Benchmarking, von großer Bedeutung. Im Folgenden werden die acht durch die Hochschule Offenburg im Langzeitmonitoring betreuten Anlagen anhand der Benchmarks „solare Nutzwärme“, „Systemnutzungsgrad“ und „solarer Deckungsanteil“ grafisch gegenübergestellt. Abgerundet wird der Vergleich mit der Gegenüberstellung der Wärmeegestehungskosten.

Solare Nutzwärme

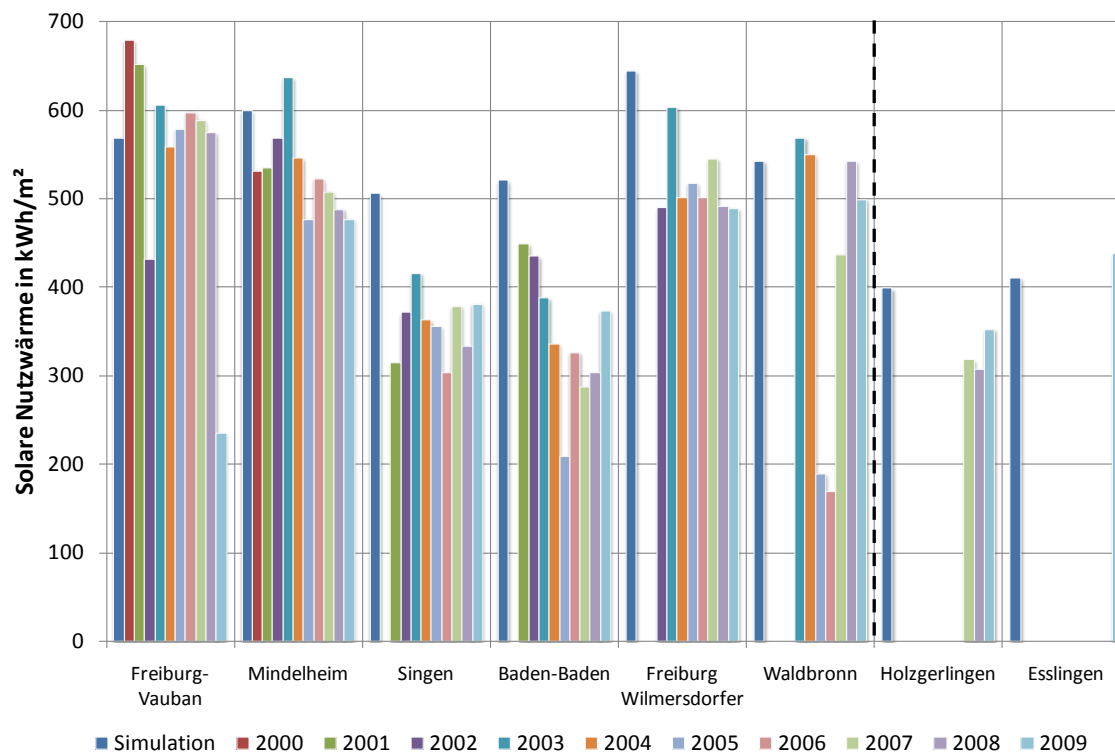


Abb.: 4.1: Jahressummen der gemessenen Nutzwärme bezogen auf die Kollektorfläche

In **Abb. 4.1** sind die Jahressummen der gemessenen Nutzwärme der einzelnen Anlagen bezogen auf die Kollektorfläche dargestellt. Zum Vergleich ist auch die Nutzwärme dargestellt, die vor der Anlageninstallation auf Basis von Simulationen prognostiziert wurde. Es zeigen sich z. T. starke Ertragsunterschiede zwischen den einzelnen Anlagen, aber auch Schwankungen in den Jahreserträgen der jeweiligen Anlage. Dies liegt darin begründet, dass die Nutzwärme einer Solaranlage von vielen Faktoren bestimmt wird: Wetter, Warmwasserverbrauch, Regelkonzept, Betriebsweise der konventionellen Technik, Störungen und Ausfälle des Solarsystems etc.

Die Messergebnisse von Holzgerlingen sind getrennt zu betrachten, da es sich hier um ein Nahwärmenetz handelt, dessen Erträge nur bedingt mit denen der Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung vergleichbar sind.

Systemnutzungsgrad

Der Jahres-Systemnutzungsgrad lag bei Normalbetrieb der Anlagen im Bereich 30 – 52 %. Auf Grund von Funktionsstörungen kam es auch zu Systemnutzungsgraden unter 30 %. Der durchschnittliche Systemnutzungsgrad, gemittelt über alle acht Anlagen, betrug 34,3 %.

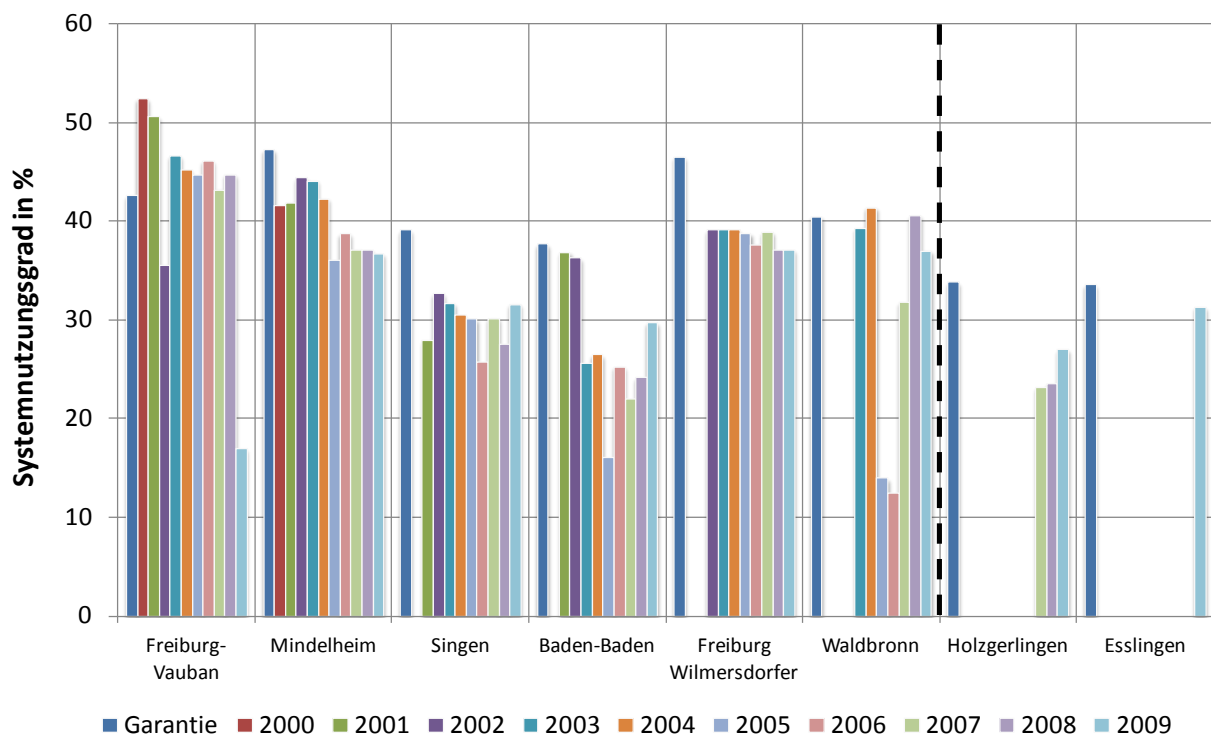


Abb.: 4.2: Mittlere jährliche Systemnutzungsgrade der verschiedenen Solaranlagen

Die mittleren jährlichen Systemnutzungsgrade der einzelnen Solaranlagen sind in **Abb. 4.2** dargestellt. Ebenfalls abgebildet sind die prognostizierten Systemnutzungsgrade, ermittelt auf Basis von Simulationsrechnungen. Auffällig sind hier die im Vergleich zu den anderen Anlagen hohen Nutzungsgrade in Freiburg-Vauban.

Solarer Deckungsanteil

In **Abb. 4.3** ist der solare Deckungsanteil an der Erwärmung des gezapften Warmwassers bzw. der ans Nahwärmenetz abgegebenen Wärmemenge dargestellt. Dieser lag meist im Bereich von 30 – 40 %, was charakteristisch für Solaranlagen ist, die als Vorwärmssysteme konzipiert sind. Ausreißer ist die Solaranlage im Studentendorf Freiburg-Vauban, wegen ihrer in Relation zum Warmwasserverbrauch kleinen Kollektorfläche. Auch in Holzgerlingen fällt im Vergleich zu den anderen Anlagen der Deckungsanteil deutlich niedriger aus. Hier konnte das Kollektorfeld nicht größer ausgelegt werden, da nicht mehr geeignete Dachfläche zur Verfügung stand.

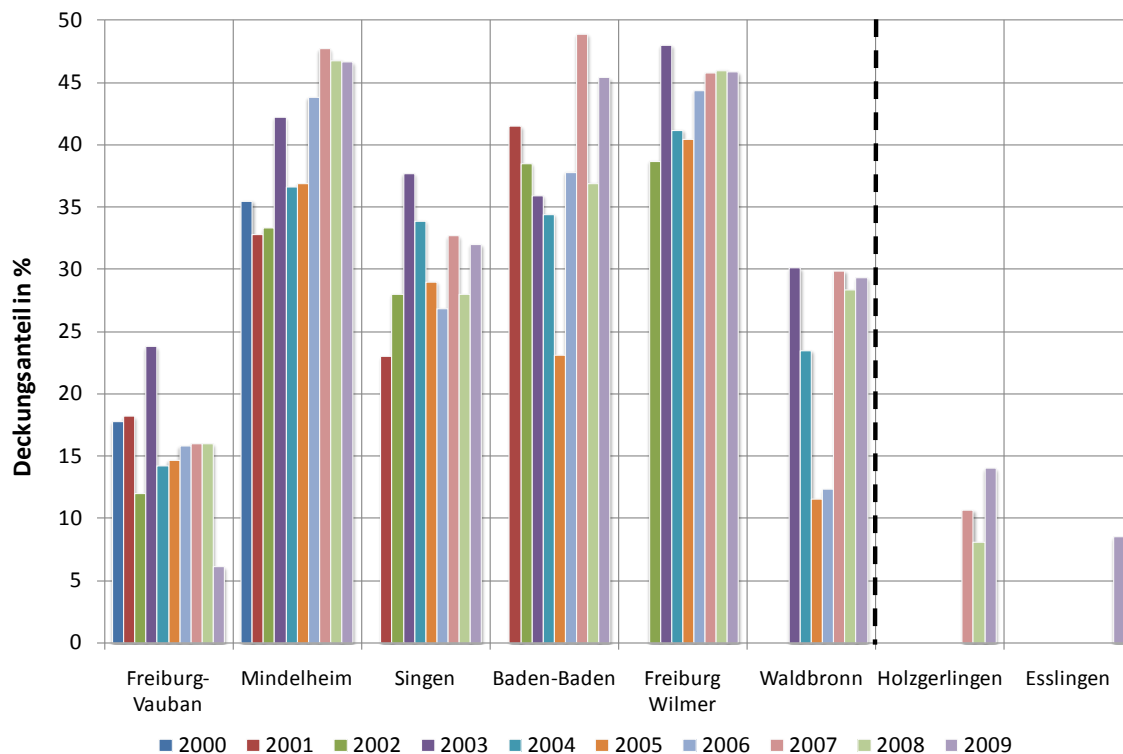


Abb.: 4.3: Solarer Deckungsanteil an der Erwärmung des gezapften Warmwassers bzw. der ans Nahwärmenetz abgegebenen Wärmemenge

Wärmegestehungskosten

Abb. 4.4 zeigt die mittleren solaren Nutzwärmekosten und zusätzlich die minimalen Nutzwärmekosten der Solarsysteme, die mit den Anlagen erreicht wurden. Hier

konnten in Freiburg-Vauban die geringsten solaren Wärmekosten erzielt werden, was auf die sehr hohe Auslastung zurückzuführen ist.

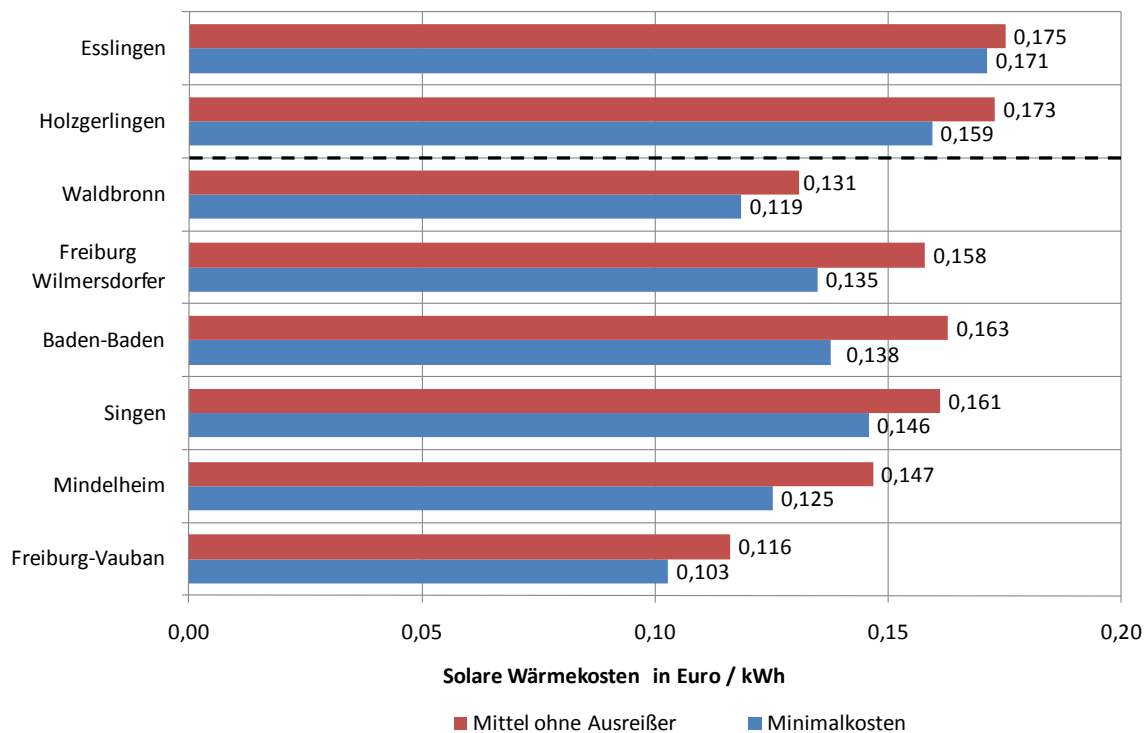


Abb.: 4.4: Mittlere solare Nutzwärmekosten und minimale Nutzwärmekosten der Solaranlagen

5 Fazit

Während der langjährigen Betreuung von solarthermischen Großanlagen durch die Hochschule Offenburg im Rahmen des Förderkonzeptes Solarthermie-2000 und dessen Folgeprogramms Solarthermie2000plus hat sich deutlich gezeigt, dass für Solargroßanlagen die kontinuierliche qualifizierte Begleitung auch über die Intensiv-Messphasen hinaus ein wesentlicher Erfolgsfaktor für den nachhaltigen Anlagenbetrieb ist.

Aus diesem Grund führt die Hochschule Offenburg mit Anlagenbetreibern im Rahmen eines Langzeitmonitorings Schwachstellenanalysen durch und sorgt somit dauerhaft für einen effizienten Anlagenbetrieb. In die Schwachstellenanalysen fließen auch die Erfahrungen aus dem systematischen Anlagenvergleich über ein Jahrzehnt ein. Im Team mit Betreiber, Planer und ausführendem Unternehmen wird so langfristig ein wirtschaftlicher Betrieb der Solaranlage möglich.

Mit der regelmäßigen Schwachstellenanalyse werden ertragsmindernde Störungen an den solarthermischen Großanlagen aufgedeckt. Um jedoch nachhaltig einen hohen Anlagenertrag zu sichern, ist eine automatisierte und somit kostengünstige Funktionskontrolle erforderlich. Ziel für die Zukunft ist deshalb der systematische Aufbau einer Methodik zur automatisierten Funktionskontrolle.