

Solarthermische Großanlagen im Test

Das Förderprogramm „Solarthermie-2000“

An der Fachhochschule Offenburg werden seit Februar 1999 solarthermische Großanlagen zur Brauchwassererwärmung im Rahmen des Förderprogramms „Solarthermie-2000“ betreut. Im ganzen Bundesgebiet gibt es seit 1993 vier weitere Projektgruppen mit denen insgesamt mehr als 50 Demonstrationsanlagen wissenschaftlich betreut, überwacht und analysiert werden.

Am Beispiel dieser Demonstrationsanlagen von jeweils mehr als 100 m² Kollektorfläche wurde die technische und wirtschaftliche Einsatztauglichkeit aktiver thermischer Solarsysteme demonstriert, deren Technik weiterentwickelt, die Systemschaltungen standardisiert und Grundlagen für eine sinnvolle Dimensionierung geschaffen. Dabei werden in diesem wissenschaftlich-technischen Begleitprogramm die Solaranlagen von der Idee über die Realisierung bis hin zu einem mehrjährigen Betrieb von einer unabhängigen Stelle, in der Regel eine Hochschule, betreut.

Die FH Offenburg betreut sechs Großanlagen. Nach fünf Jahren der Begleitung und dem Aufbau einer großen Datendichte von Messwerten sind diese Anlagen sehr gut dokumentiert, analysiert und optimiert. Im folgenden sollen die wichtigsten Grundlagen, Ergebnisse und Betriebserfahrungen dargestellt werden.

Grundlegende Anlagenschaltungen und deren Vor- und Nachteile

Große Anlagen teilen sich üblicherweise auf in drei Kreise: Kollektorkreis, Speicherkreis und der Trinkwasserkreis; jeweils getrennt durch einen Wärmeübertrager. Der erste Wärmeübertrager (Beladewärmeübertrager) trennt das Wasser-Glykol Gemisch des Kollektorkreises vom Wasser des Speicherkreises. Der zweite Wärmeübertrager (Entladewärmeübertrager) ist notwendig, damit eine Speicherung des Trinkwassers vermieden wird und trennt somit das Speicherwasser vom Trinkwasser.

Grundsätzlich gibt es entsprechend der Art der Entladung zwei unterschiedliche hydraulische Systemschaltungen: mit einem Vorwärmespeicher oder Anlagen mit Direkterwärmung (siehe hierzu Bild 1 und 2). Dabei haben beide Systeme Vor- und Nachteile.

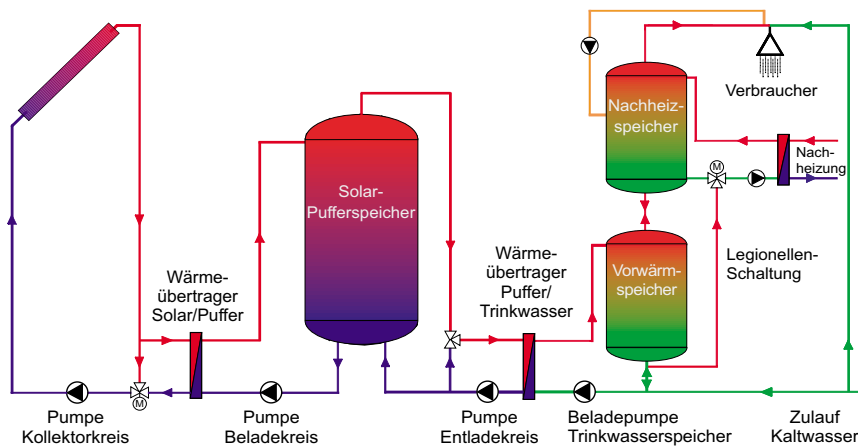


Bild 1: Schematische Darstellung des Anlagentyps „mit Vorwärmespeicher“

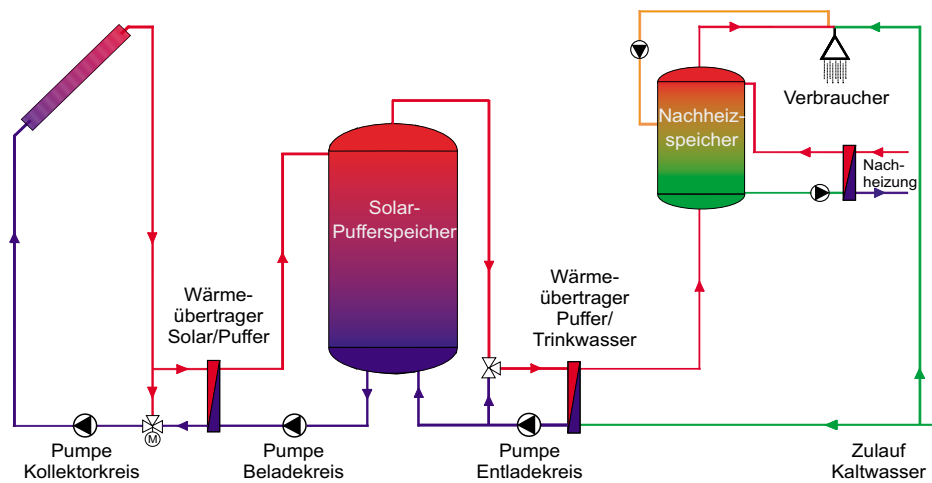


Bild 2: Schematische Darstellung des Anlagentyps „Direkte Erwärmung“

Das System mit Vorwärmespeicher ist der im Solarthermie-2000 Projekt am häufigsten eingesetzte Anlagentyp. Vor dem konventionellen Warmwasserspeicher wird noch ein zusätzlicher Vorwärmespeicher (gefüllt mit Trinkwasser) eingesetzt. Über eine Umwälzpumpe wird das kalte Trinkwasser über den Entladewärmeübertrager geleitet und solar vorgewärmt. Das vorgewärmte Trinkwasser wird im Vorwärmespeicher gespeichert und je nach Zapfung wieder entleert.

Der Vorteil dieses Systems ist, dass die Entladung aus dem Pufferspeicher relativ unabhängig von der Zapfung erfolgen kann. Es gibt immer einen definierten und auf den Wärmeübertrager angepassten Volumenstrom zur Entladung. Die Regelung ist relativ einfach mit einer Temperaturdifferenz-Regelung zu realisieren. Der Nachteil dieses Systems ist, dass ein zusätzlicher Trinkwasserspeicher benötigt wird, der laut DVGW Richtlinie zur Legionellendesinfektion einmal am Tag auf 60 °C aufgewärmt werden muss. Dies benötigt zusätzlichen Installations- und Energieaufwand. Außerdem ist die Temperatur, mit der der Pufferspeicher entladen wird nicht immer die niedrige Trinkwassertemperatur, sondern meist die Temperatur im unteren Teil des Vorwärmespeichers. Die Folge ist ein höheres Temperaturniveau im Pufferspeicher und dies setzt sich bis zum Kollektorkreis fort. Höhere Temperaturen verringern den Kollektorkreiswirkungsgrad und auch die Zeitspanne, in der die Anlage in Betrieb ist.

Beim zweiten möglichen Anlagentyp, der „Direkten Erwärmung“ sind die Vor- und Nachteile umgekehrt. Das Trinkwasser wird direkt über den Entladewärmeübertrager geleitet. Das heißt, das kalte Wasser entlädt die Pufferspeicher und ermöglicht so auch niedrige Speichertemperaturen und somit optimale Kollektorausnutzung. Der Nachteil ist, dass der Volumenstrom am Entladewärmeübertrager primär an den Zapfvolumenstrom angepasst werden muss um eine optimale Wärmeübertragung und Temperaturschichtung zu erhalten. Dies ist eine regelungstechnische Herausforderung, die nicht immer zufriedenstellend gelöst wird. Es gibt jedoch erfolgsversprechende Ansätze, die diese Systemschaltung zum Favoriten werden lassen. Ein weiterer Vorteil ist, dass kein zusätzlicher Speicher benötigt wird und kein zusätzliches Trinkwasser bevorratet werden muss.

Dimensionierung solarthermischer Großanlagen

Die Dimensionierung des Kollektorfeldes hängt eher von den Wünschen und Vorgaben des Betreibers als von technischen Gesichtspunkten ab. Der Betreiber muss entscheiden welchen Beitrag die Solaranlage zur Warmwasserbereitung oder auch Heizungsunterstützung leisten soll. Ein höherer Deckungsanteil der Solarenergie am Wärmebedarf und somit Brennstoffeinsparung bedeutet meist auch höhere solare Wärmekosten.

Im Solarthermie-2000 Programm wurden die Brauchwasseranlagen als Vorwärmanlagen mit einem relativ geringen Deckungsanteil an der Warmwassererwärmung von ca. 30 % realisiert, was eine Kollektorfläche von ca. 1 m² pro 70 Liter Warmwasserverbrauch bei 60 °C bedeutet. Die Anlage ist dann im Sommer gut ausgenutzt und deckt 80 – 90 % des Energiebedarfs zur Warmwasserbereitung. Die Zirkulation ist dabei nicht mit berücksichtigt. Durch Simulation wurde bei diesen Auslegungswerten ein sehr flaches Kostenoptimum gefunden. Die Anlage kann aber durchaus einen höheren Anteil abdecken und größer dimensioniert werden. Hier sind dann oft andere Größen wie z.B. die zur Verfügung stehende Dachfläche oder Raumgröße für Speicher oder die Investitionsmittel des Betreibers ausschlaggebend.

Die weiteren Systemkomponenten werden abhängig vom Verbrauch und dem Verbrauchsprofil ausgelegt. Dies muss bei großen Anlagen mit Hilfe einer Simulationssoftware erfolgen. Erste Anhaltswerte sind eine Speichergröße von ca. 50- 60 Litern je m² Kollektorfläche. Die durchschnittliche Spreizung an den Wärmeübertragern sollte bei ca. 5 K liegen.

Weiterhin ist bei der Planung wichtig, die Systemtemperaturen niedrig zu halten. Besonders die Rücklauftemperaturen zum Kollektor haben einen hohen Einfluss auf den Systemnutzungsgrad. Nicht nur durch einen dann geringeren Wirkungsgrad des Kollektors, sondern zusätzlich durch die eingeschränkte Betriebszeit des Systems. Wenn nachmittags schon die niedrigste Temperatur im System 50 °C beträgt, kann nicht mehr viel von der Sonne genutzt werden. Deshalb ist es wichtig bei der Systemkonzeption konsequent auf eine gute Schichtung in den Speichern zu achten. Dies passiert zum Beispiel durch Schichtbeladeinrichtungen, Umschaltventile, Reihenschaltung von mehreren Speichern und eine gute Entladung der Pufferspeicher.

Erfahrungen und Ergebnisse

Die Projektgruppe der Fachhochschule Offenburg betreut sechs Anlagen, die in Bild 3 dargestellt sind.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse dieser Anlagen zusammenfassend dargestellt werden und anhand von Abweichungen und Besonderheiten auf die einzelnen Anlagen eingegangen werden.



Kreiskrankenhaus Mindelheim
 (Kollektorfläche: 120 m²)



Studentendorf Freiburg-Vauban
 (Kollektorfläche: 143 m²)



Stadtklinik Baden-Baden
 (Kollektorfläche: 276 m²)



Wohngebäude Wilmersdorfer
 Straße in Freiburg
 (Kollektorfläche: 228 m²)



Hegau Klinikum Singen
 (Kollektorfläche: 264 m²)



Albtherme Waldbronn
 (Kollektorfläche: 234 m²)

Bild 3: Übersicht über die von der FH Offenburg betreuten Anlagen

Solare Nutzwärme

Die Solare Nutzwärme bezeichnet die Energie, die von der Solaranlage an das Trinkwasser abgegeben und für dessen Erwärmung genutzt wird. Im Jahr 2003 betrug die solare Nutzwärme der sechs begleiteten Anlagen im Durchschnitt 517 kWh/m² Kollektorfläche. In Bild 4 sind die Jahressummen der gemessenen Nutzwärme der einzelnen Anlagen bezogen auf die Kollektorfläche dargestellt. Zum Vergleich ist zusätzlich das Ergebnis der Anlagensimulation aufgetragen.

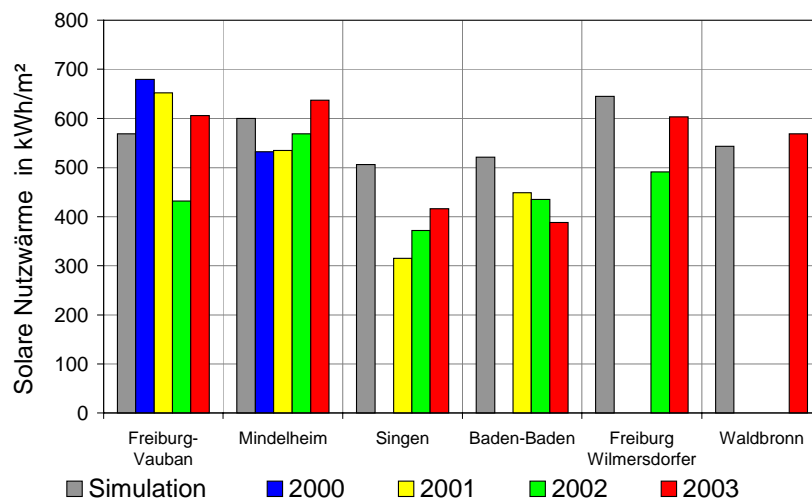


Bild 4: Simulierte und gemessene spezifische solare Nutzwärme

Als erstes fällt auf, dass der simulierte, prognostizierte Ertrag meist größer ist als der gemessene. Dies liegt zum Beispiel an Störungen im Betrieb, nicht optimaler Betriebsweise, veränderte Verbrauchswerte oder schlechtere Wetterverhältnisse.

Die erreichten Ergebnisse der Anlage im Studentenwohnheim Freiburg-Vauban liegen über 600 kWh/m^2 , was ein außergewöhnlich guter Wert ist. Der Grund dafür ist, dass der tatsächliche Warmwasserverbrauch höher war als bei der Planung angenommen (eine vorherige Messung war nicht möglich). Ein hoher Warmwasserverbrauch bedeutet eine sehr gute Auslastung der Anlage mit hohem Nutzungsgrad und hohen Erträgen. Der Nachteil ist, dass der Deckungsanteil der Solaranlage an der Energie für die Warmwasserbereitung mit ca. 18 % sehr gering ist.

Ein weiterer Faktor, der zu guten Erträgen in Freiburg-Vauban beiträgt, ist das hier realisierte System der direkten Erwärmung (siehe Bild 2), welches sehr gute Nutzungsgrade ermöglicht. Im dritten Messjahr (2002) ist aber auch der Nachteil dieses Systems zu erkennen: die Regelung war nicht funktionstüchtig und hat erhebliche Ertragseinbußen verursacht.

Die Anlage des Hegau Klinikums Singen lieferte im ersten Messjahr Erträge die nur 60 % des simulierten Ertrages erreichen. Die vom Installateur abgegebene Energiegarantie wurde im ersten Jahr nicht erfüllt. Die Fehler wurden detailliert analysiert und falls mit vertretbarem Aufwand möglich, beseitigt.

Ein Grund für Fehlfunktionen lag zum Beispiel bei der Übertragung des Regelkonzeptes auf die Gebäudeautomation der Anlage. Für einen Regelungstechniker, der mit der Solartechnik meist weniger vertraut ist, ist es schwierig eine Regelbeschreibung für eine Solaranlage korrekt zu übertragen. So war beispielsweise die Formulierung „das Ventil soll umschalten wenn der Speicher voll ist“ vom Regelungstechniker „übersetzt“ worden: das Ventil soll schalten, wenn der Speicher über $95 \text{ }^\circ\text{C}$ hat. Gemeint war aber, dass das Ventil schaltet, wenn die Temperatur, die vom Kollektor kommt nicht mehr größer als die Speichertemperatur ist. Keine einheitliche „Regelsprache“ und Regelungstechniker ohne Fachkenntnis der Solartechnik bilden hier eine große Fehlerquelle. Diese Fehler konnten beim Hegau Klinikum Singen anhand der Messwerte erkannt und beseitigt werden, so dass in der zweiten Messphase die Energiegarantie erfüllt werden konnte.

Dass die erreichten Werte noch immer unter denen der Simulation liegen, ist unter anderem auch auf die Pufferspeicher zurückzuführen. Um Kosten zu sparen, wurden die ehemaligen Trinkwasserspeicher als Pufferspeicher umfunktioniert. Allerdings lagen die jeweiligen Anschlüsse nicht an den optimalen Positionen. So ist zum Beispiel die Einspeisung des heißen Wassers vom Kollektor im unteren Teil des Speichers. Somit kann keine sehr gute Schichtung entstehen und die Solarenergie nicht optimal genutzt werden. Bei jeder Einsparmaßnahme müssen die Vor- und Nachteile, also die Investitionsersparnisse gegen einen dadurch eventuell möglichen Minderertrag abgewogen werden.

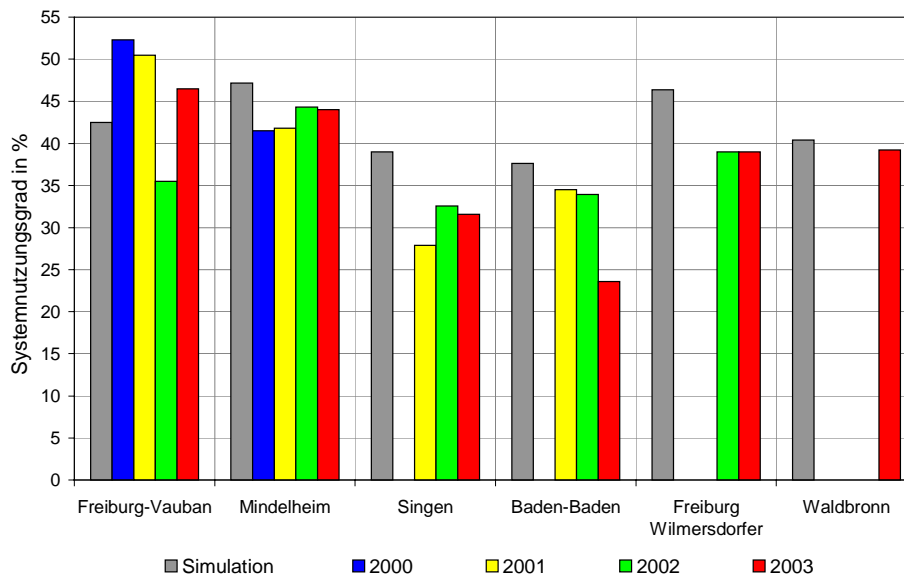


Bild 5: Simulierter und gemessener Systemnutzungsgrad

Solarer Deckungsanteil

Der solare Deckungsanteil bezeichnet hier den Anteil der solaren Nutzwärme am Energiebedarf für die Erwärmung des gezapften Warmwassers. Nach den im Förderprogramm ausgearbeiteten Empfehlungen liegt der Deckungsanteil bei ca. 30 % (siehe oben). Wie in Bild 6 zu sehen ist, variiert der Deckungsanteil je nach Anlage und Jahr. Dies hängt von den Betriebsbedingungen, Wetter, Auslegung, Abschätzung des Warmwasserbedarfs usw. ab.

Auffällig sind wiederum die Werte in Freiburg-Vauban. Wie schon oben erwähnt, ist der niedrige Deckungsanteil eine Auswirkung des in der Planung unterschätzten Warmwasserverbrauchs. Die Werte von durchschnittlich 18 % Deckungsanteil sind durchaus ohne nennenswerte spezifische Ertragseinbußen durch eine Vergrößerung der Kollektorfläche ausbaufähig.

Es zeigt sich auch am Beispiel in der Wilmersdorfer Straße in Freiburg, dass Deckungsgrade von bis zu 50 % möglich sind und trotzdem der spezifische Nutzwärmeertrag zwischen 500 und 600 kWh liegt.

Die Tendenz geht auch aufgrund der Kollektor-, Speicher-, und Systementwicklung hin zu höheren Deckungsanteilen. Wenn die Solartechnik eine wichtige Rolle in der Wärmeversorgung spielen soll, muss die Auslegung in diese Richtung gehen. Und die gemessenen Werte zeigen, dass dies mit intelligenten Anlagenkonzepten möglich ist.

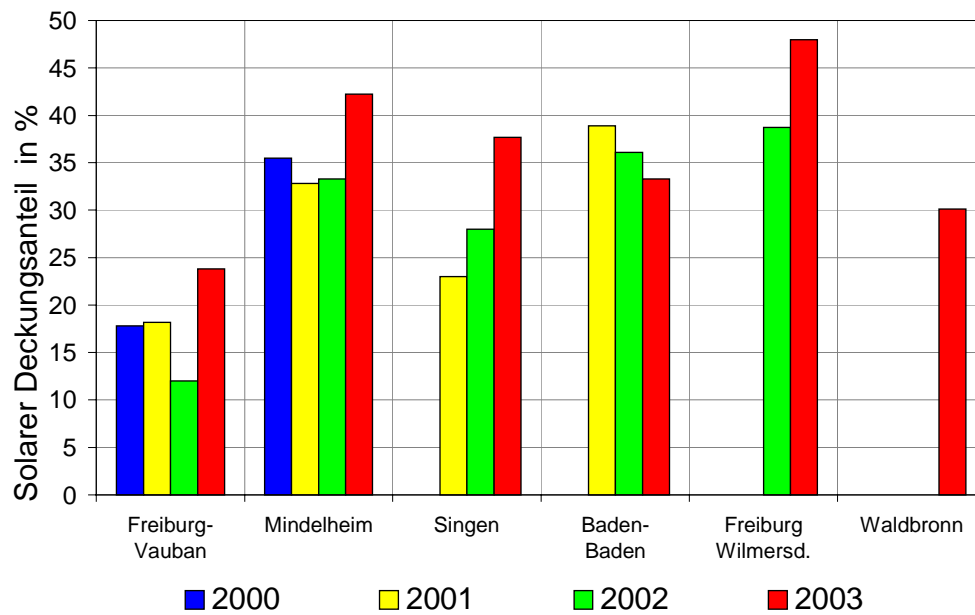


Bild 6: Gemessener Deckungsanteil der Solaren Nutzwärme an der Warmwasserbereitung

Kosten

Bild 7 zeigt die gesamten spezifischen Investitionskosten für eine Anlage und deren Aufteilung auf die einzelnen Positionen. Auffällig ist, dass immer noch die Kollektoren und deren Montage einen Großteil der Kosten verursachen.

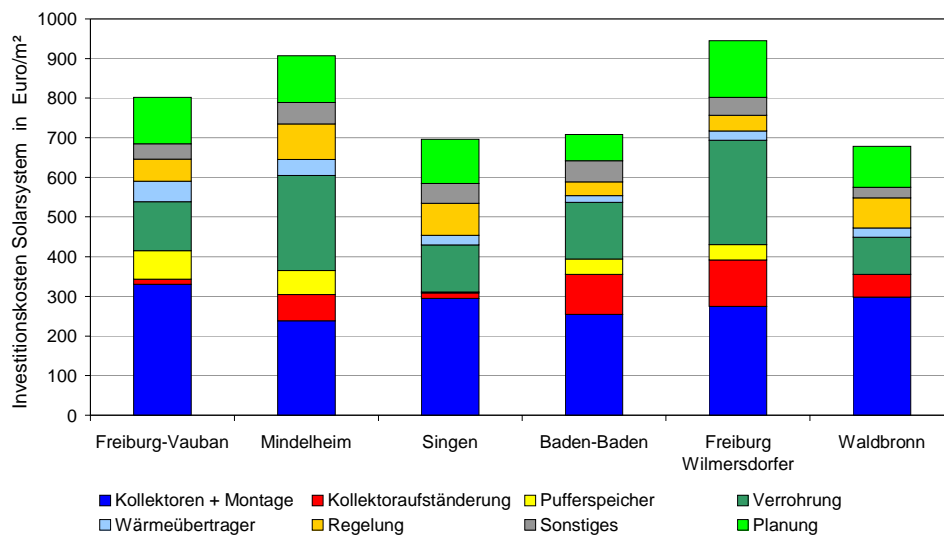


Bild 7: Aufteilung der Investitionskosten der von der FH Offenburg betreuten Anlagen (ohne Berücksichtigung der Förderung)

Bei der Aufständering der Kollektoren sind die Kosten weit gefächert. Dies liegt an den unterschiedlichen Dacharten. So ist zum Beispiel die Aufständering auf ein Flachdach, wie in der Wilmersdorfer Straße in Freiburg oder in Baden-Baden, sehr teuer. In Singen wurde ein sogenanntes „Solar Roof“ eingesetzt, bei dem das gesamte Dach der Technikzentrale nur aus den Kollektoren besteht. Diese Art der Kollektorbefestigung ist sehr kostengünstig.

Bild 8 zeigt die aus den Investitionskosten und dem solaren Ertrag errechneten Kosten für eine kWh solare Nutzenergie ohne Berücksichtigung der Förderung (6 % Zins, 20 Jahre Lebensdauer).

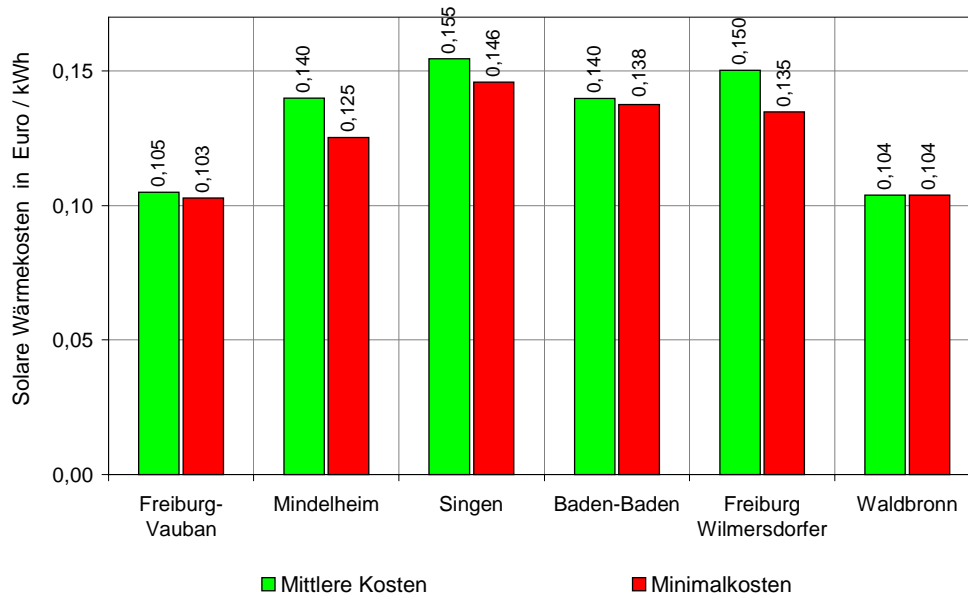


Bild 8: Spezifische solare Nutzwärmekosten, Durchschnitts- und Minimalwert

Im dargestellten Diagramm (Bild 8) zeigen sich die Effekte der vorher beschriebenen Aspekte. Zum Beispiel ist in Freiburg durch seine gute Auslastung und ein effektives System ein günstiger Wärmepreis erreicht worden. In Singen ist zwar der Ertrag nicht optimal, die Kostenersparnis durch Solar Roof und wiederverwendete Pufferspeicher hält die solaren Wärmekosten in Grenzen.

Allgemein lässt sich feststellen, dass besonders die Großanlagen auch unter ökonomischen Gesichtspunkten immer konkurrenzfähiger zur konventionellen Energieerzeugung werden. Auch im Hinblick auf die steigenden Heizöl, Erdgas und Strompreise und zu erwartende sinkende Kosten für solare Großanlagen reduziert sich der derzeitige Faktor von ca. 2 immer mehr. Die Förderung ist dabei noch nicht mit eingerechnet. Die maximale Förderung im Programm Solarthermie2000plus beträgt 30 % der Systemkosten. Die messtechnische Begleitung wird zu 100 % gefördert.

Ausblick

Im Februar 2004 hat das Förderprogramm Solarthermie2000plus das bisherige Programm Solarthermie-2000 abgelöst. Dies bedeutet eine Weiterführung der Förderung von solarthermischen Großanlagen als Demonstrationsobjekte mit der Berücksichtigung der im vorherigen Programm gewonnenen Erkenntnisse. Großanlagen zur Vorwärmung des Brauchwassers sind größtenteils erforscht und standardisiert. Es gibt eine Vielzahl von detailliert untersuchten und dokumentierten Anlagen, von deren Erfahrung Planer und Betreiber profitieren können. Der weitere Forschungsbedarf wird nun bei Anlagen mit einem größeren solarem Deckungsanteil gesehen.

Im neuen Programm Solarthermie2000plus werden Anlagen ab einem Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf (Warmwasser und Heizung) von über 10 % gefördert. Dies stellt neue Herausforderungen an die Speichertechnik und auch Einbindung in die Raumheizung.

Zusätzlich ist das Programm offen für neue Anwendungen der Solarthermie wie zum Beispiel Prozesswärme oder solare Kühlung.

Auch in Solarthermie2000plus wird die konsequente Ausrichtung auf kostengünstige Lösungen und die detaillierte wissenschaftliche Begleitung durch Hochschulen oder Institute fortgeführt.