

## Solarthermische Großanlagen

Betreuung - Analyse - Optimierung

### 1. Abstract

Solarthermische Großanlagen zur Brauchwasserbereitung werden seit 5 Jahren von der Fachhochschule Offenburg wissenschaftlich betreut, analysiert und optimiert. Hier sollen die Ergebnisse von 6 Anlagen zusammengefasst werden. Es soll eine Einsicht in Kosten, Betriebserfahrung und erreichte solare Erträge gegeben werden.

Zusätzlich wurde an der FH Offenburg ein Reglerteststand gebaut, um Solarregler auf ihre Einsatzmöglichkeit in Großanlagen zu testen. Damit wird es möglich, eine Beurteilung über Regelkonzepte und ihre Ausführung für Großanlagen zu geben.

### 2. Solarthermie-2000

An der Fachhochschule Offenburg werden seit Februar 1999 solarthermische Großanlagen zur Brauchwassererwärmung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft betreut. Im ganzen Bundesgebiet gibt es vier weitere Projektgruppen mit denen insgesamt 60 Demonstrationsanlagen wissenschaftlich betreut, überwacht und analysiert werden.



Stadtklinik Baden-Baden (276 m<sup>2</sup>  
Kollektorfläche)



Kreiskrankenhaus Mindelheim (120 m<sup>2</sup>)



Hegau Klinikum Singen (264 m<sup>2</sup>)



Albtherme Waldbronn (234 m<sup>2</sup>)



Wohngebäude Wilmersdorfer Straße in Freiburg (228 m<sup>2</sup>)



Studentenwohnheim Vauban, Freiburg (143 m<sup>2</sup>)

*Bild 1: Fotos der von der FH Offenburg betreuten Anlagen*

Die Projektgruppe an der FH Offenburg betreut derzeit sechs solarthermische Großanlagen zur Warmwasserbereitung. Da für eine sinnvolle Ausnutzung der Solaranlage ein ausrei-

chend hoher Warmwasserverbrauch kontinuierlich über das ganze Jahr vorhanden sein muss, sind es hauptsächlich Krankenhäuser, Wohngebäude oder Wohnheime die sich für eine große Kollektorfläche eignen. Die von uns betreuten Solaranlagen befinden sich in der Stadtklinik Baden-Baden, Kreiskrankenhaus Mindelheim, Hegau Klinikum Singen, Studentenwohnheim Vauban in Freiburg, Wohngebäude in der Wilmersdorfer Straße in Freiburg und der Albtherme in Waldbronn (Siehe Bild 1).

Die Anlagen werden von der Idee eines Betreibers oder Planers bis hin zum mindestens zweijährigen Intensivmessbetrieb begleitet. Es hat sich dabei herausgestellt, dass die Betreuung zur Qualitätssicherung notwendig ist. Keine der Anlagen lief nach Inbetriebnahme mit dem geforderten solaren Energieertrag. Erst Nachbesserungen im Probetrieb brachten die Erfüllung einer vorher vom Installateur abgegebenen Energiegarantie.

### 3 Monitoring

Um eine Bewertung der Solaranlagen und des Betriebes durchführen zu können, wird eine aufwendige Messtechnik installiert. Der Datenfluss mittels Fernüberwachung ist im Bild 2 dargestellt und im folgenden näher erklärt:

An der Solaranlage werden etwa 50 Sensoren angebracht. Dabei werden gemessen:

- Temperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Solare Einstrahlung ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- Volumenströme ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
- Pumpenstatus (0 oder 1)
- Ventilstellungen (0 oder 1)
- Stromverbrauch ( $\text{kW}$ )

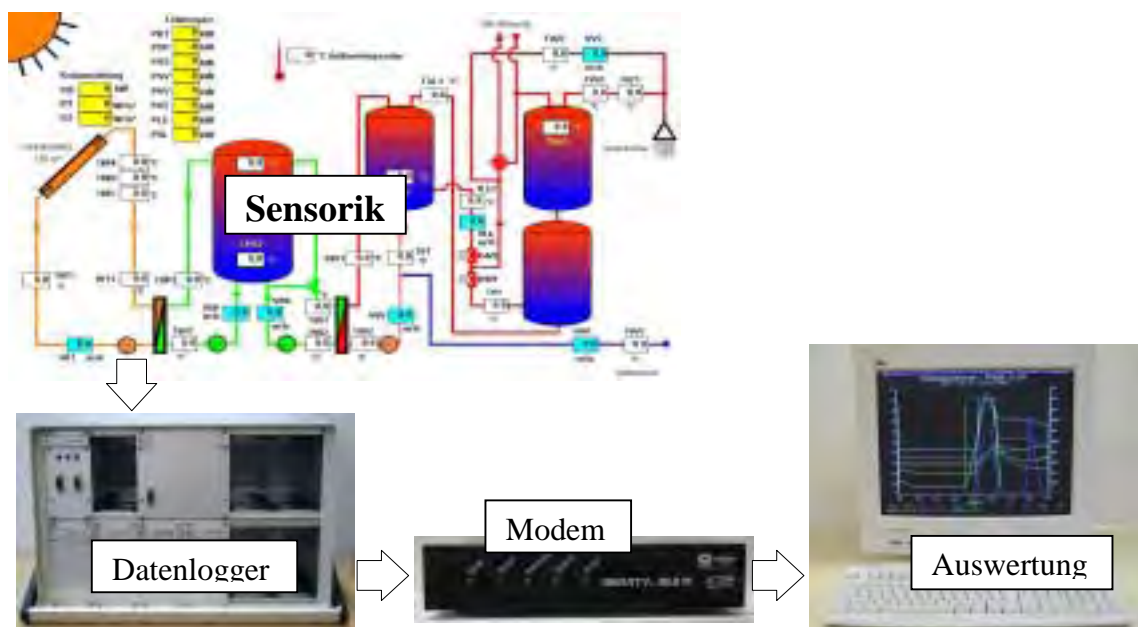


Bild 2: Datenfluss des Monitoring

Die Messstellen werden von einem Datenlogger alle 10 Sekunden erfasst und abgespeichert. Aus den Messwerten werden im Logger Leistungen ( $\text{kW}$ ), Energien ( $\text{kWh}$ ), Betriebsstunden

und Volumina ( $\text{m}^3$ ) berechnet. Die im Datenlogger gespeicherten Messdaten werden täglich von der FH Offenburg aus über ein Modem ausgelesen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Momentanwerte auszulesen und online in Tabellenform oder in einem Anlagenschema darzustellen.

Die Daten können am PC als Kurven, Diagramme und Tabellen abgebildet werden. Anhand dieser Daten erfolgt eine Überprüfung der Anlagenfunktionen. Letztendlich werden aus den Messdaten Anlagenkennwerte (Solarertrag, Nutzungs- und Deckungsgrade, Warmwasserverbrauch und Solare Wärmekosten) ermittelt, die eine Bewertung der Solaranlagenfunktion ermöglichen.

## 4. Ergebnisse

Aus fünf Jahren Messbetrieb an bis zu sechs Anlagen ergibt sich eine Datenfülle die allgemeine Aussagen über den Betrieb von solarthermischen Großanlagen zulässt.

### 4.1 Kosten

Die spezifischen Kosten der sechs Anlagen (ohne Berücksichtigung der Förderung und der zusätzlichen Kosten für die Messtechnik) sind in Bild 3 dargestellt. Den größten Anteil an den Systemkosten haben die Kollektoren und je nach Ausführung auch die Aufständering der Kollektoren. Das Solarroof des Hegau Klinikum Singen ermöglichte eine sehr günstige Anlage. Flachdachaufständeringe wie zum Beispiel im Wohngebäude Wilmersdorfer Straße in Freiburg verursachen durch aufwendige Konstruktionen der Kollektorbefestigung höhere Kosten.

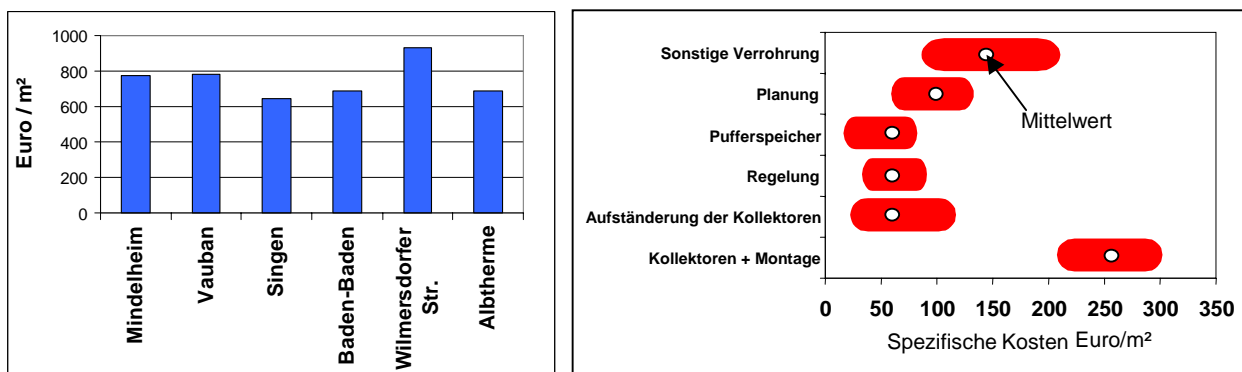


Bild 3: Aufteilung und Bandbreite der spezifischen Kosten (pro  $\text{m}^2$  Kollektorfläche)

### 4.2 Betriebserfahrung

Es hat sich gezeigt, dass die messtechnische Überwachung der Anlage und die Überprüfung des Anlagenbetriebes auch nach mehrjährigen Betrieb noch notwendig ist. Exemplarisch sollen hier zwei typische Fehler oder Störfunktionen, die an der Solaranlage der Stadtklinik Baden-Baden aufgetreten sind, beschrieben werden.

Nach Empfehlung von [2] ist für Wärmetauscher im Kollektorkreis eine Übertragungsleistung von  $100 \text{ W/K/m}^2$ -Kollektorfläche erforderlich. Es sollen typischerweise folgende charakteristische Auslegungswerte herangezogen werden:

Temperatur Eintritt primär:	75 °C	Temperatur Eintritt sekundär:	30 °C
Temperatur Austritt sekundär:	68 °C	Temperatur Austritt primär:	33 °C

Dies ergibt eine logarithmische Temperaturdifferenz von ca. 5 K.

Der Kollektorkreiswärmetauscher der Stadtklinik Baden-Baden wurde jedoch nicht nach diesen Empfehlungen ausgelegt. Die logarithmische Temperaturdifferenz lag bei 8,5 K statt bei 5 K.

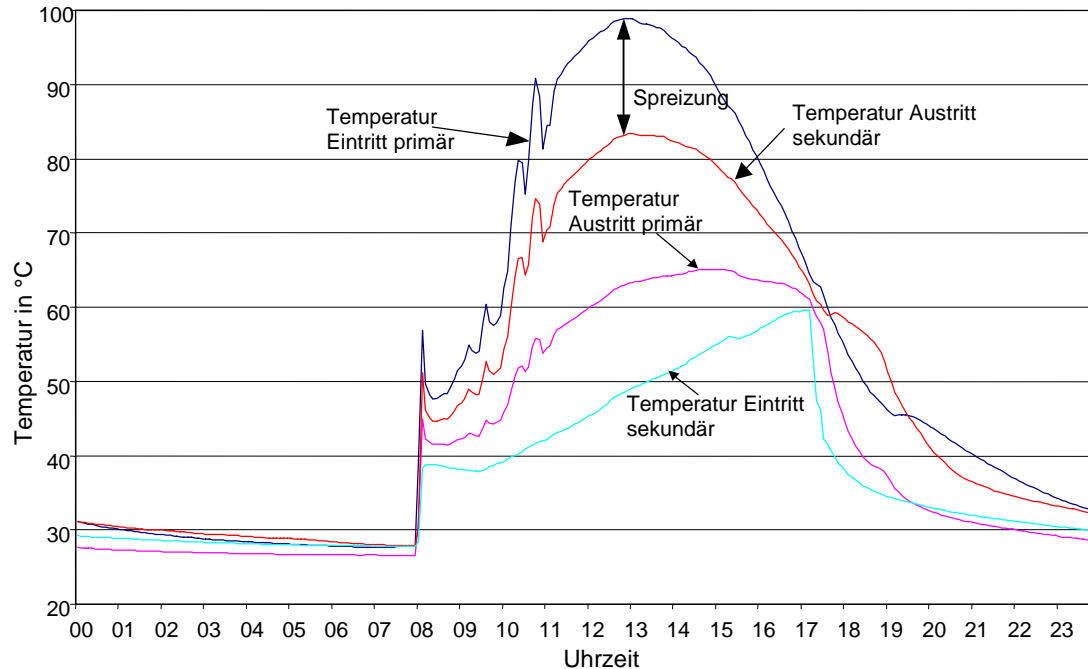


Bild 4: Temperaturverläufe am Kollektorkreiswärmetauscher

Bei der Überprüfung der Kenndaten wurde festgestellt, dass der Wärmetauscher im Verhältnis zu den Empfehlungen nach [2] um 40 % unterdimensioniert ist. Dies kann auch an den Temperaturen in Bild 4 erkannt werden. Die Spreizung ist höher als empfohlen, sie beträgt bis zu 15 K. Besonders bei hoher Einstrahlung und somit hohen Temperaturen kann die nötige Leistung nicht übertragen werden. Die Unterdimensionierung erfolgte aus Kostengründen. Sie hat eine Verringerung des Kollektorkreisnutzungsgrades und somit des solaren Ertrages zur Folge. Der Wärmetauscher wurde jedoch nicht ausgetauscht, da eine Erfüllung der abgegebenen Energiegarantie trotzdem möglich war.

Nach zweijährigem Betrieb wurde festgestellt, dass der Volumenstrom auf der Sekundärseite des Entladewärmetauschers seit einem Monat ständig abnahm und schließlich ganz abbrach (Bild 5). Nachdem die Reinigung des Schmutzfängers keine Besserung brachte, wurde der Wärmetauscher ausgebaut und eine starke Verkalkung festgestellt. Nach der Säuberung war der Volumenstrom und der Solarertrag wieder im ursprünglichen Auslegungswert. Nachdem ein Jahr später wieder eine Volumenstromabnahme aufgrund erneuter Verkalkung des Wärmetauschers festgestellt wurde, wird der Wärmetauscher nun regelmäßig gereinigt.

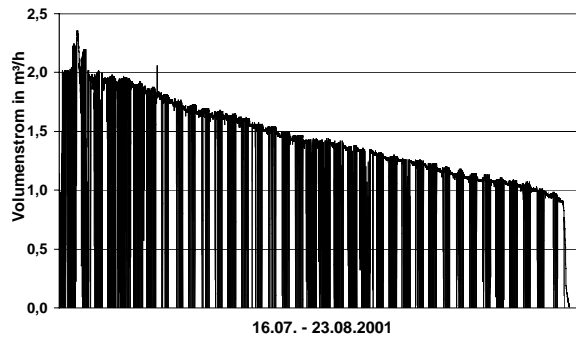


Bild 5: Volumenstromabnahme aufgrund der Verkalkung des Wärmetauschers

### 4.3 Solarer Ertrag und Nutzungsgrad

Neben der Analyse des Betriebsverhaltens der Solaranlage wird mit Hilfe der Messungen unter anderem der solare Ertrag und der Nutzungsgrad ermittelt. Wobei der solare Ertrag die Energie, die vom Solarsystem an das Trinkwassersystem abgegeben wurde, darstellt und der Systemnutzungsgrad, das Verhältnis vom solaren Ertrag zur gesamten eingestrahlteten solaren Energie bedeutet. Die Bilder 6 und 7 zeigen eine Übersicht dieser Ergebnisse.

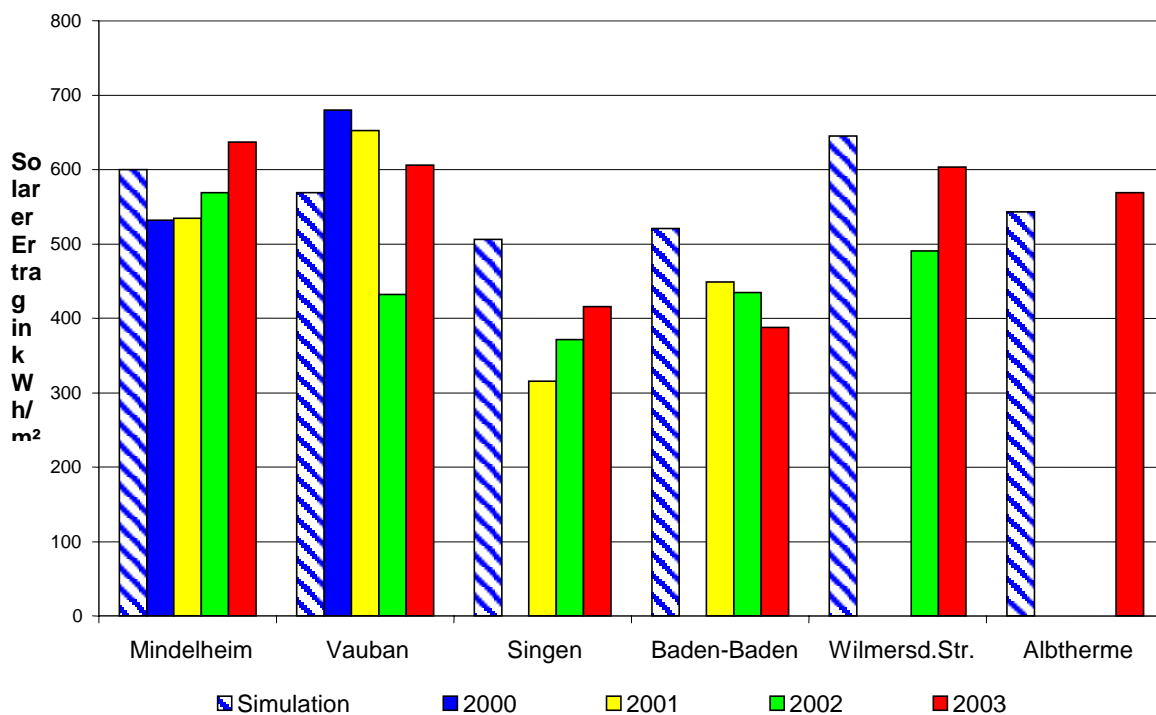


Bild 6: Simulation und Messungen der solaren Erträge der von der FH Offenburg betreuten Anlagen

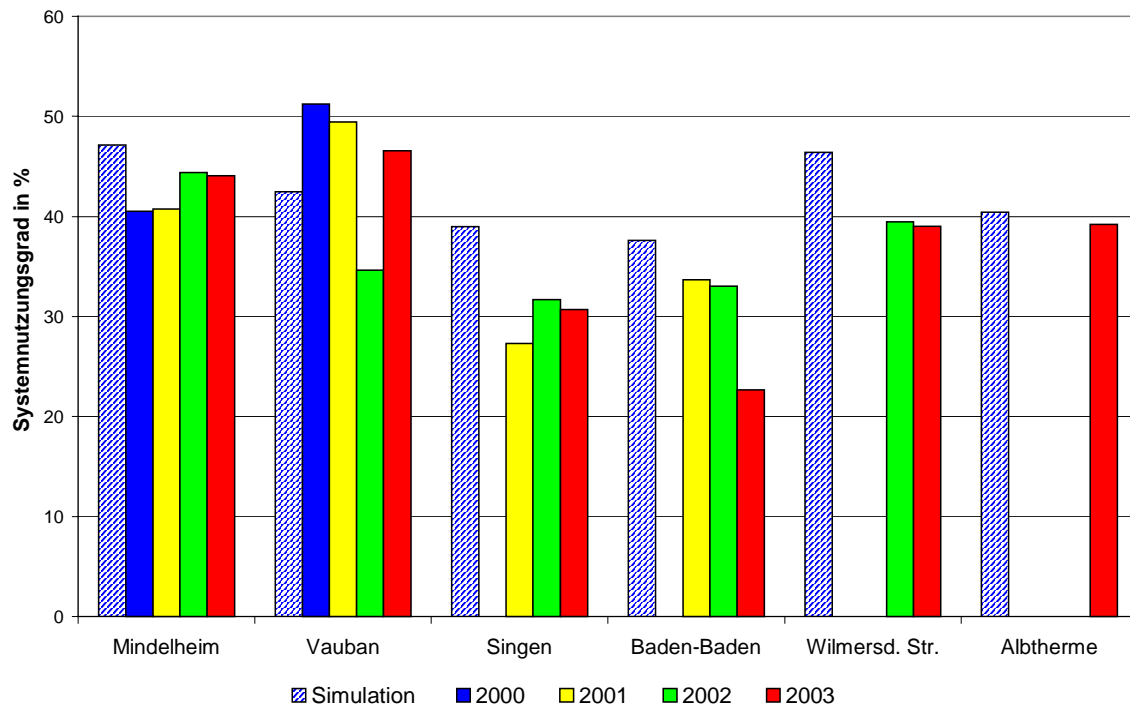


Bild 7: Simulation und Messungen der Nutzungsgrade der von der FH Offenburg betreuten Anlagen

Es fällt auf, dass die Anlage auf dem Studentenwohnheim Vauban besonders gute Erträge erzielt. Der Grund dafür ist die Unterdimensionierung der Anlage. Der tatsächliche Warmwasserverbrauch der Studenten besonders in den Sommersemesterferien lag weit über den auf Messungen basierenden Auslegungsverbrauch. Deshalb ist die Abnahme der solaren Energie auch in den Sommermonaten ausreichend vorhanden. Der Nachteil ist dabei, dass der Deckungsgrad der Anlage, d.h. der Anteil den die Solaranlage an der Warmwasserbereitung übernimmt, gering ist.

Der relativ geringe Ertrag der Solaranlage auf dem Hegau Klinikum Singen liegt hauptsächlich an einem anfänglich ungünstigen Konzept. Wie man am jährlich steigenden Ertrag sehen kann, wurden Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Dies umfasste zum Beispiel eine Anpassung des Regelkonzepts und die Änderung der Speicherverschaltung. Als Pufferspeicher wurden hier alte, schon vorhandene Trinkwasserspeicher verwendet. Die Anschlüsse dieser Speicher sind nicht optimal, was besonders in den Wintermonaten eine Minderleistung mit sich bringt.

Der solare Nutzwärmepreis liegt bei den Anlagen zwischen 0,107 €/kWh und 0,160 €/kWh. Dies ist immer noch mehr als doppelt so hoch wie konventionelle Energiekosten. Wird aber die Förderung mit eingerechnet und ein Optimierungspotential sowohl bei den Kosten als auch bei den Anlagenenerträgen angenommen, so wird die Solartechnik besonders im Großanlagenbereich konkurrenzfähig.

#### 4. Reglerteststand

Ein Resultat der bisherigen Arbeit zeigt unter anderem, dass die Regelung und Steuerung von großen Solaranlagen oft noch Probleme bereitet. Es gibt keine Standardisierung, keine einheitliche Sprache zur Beschreibung der Regelvorgänge und keine Qualitätskontrolle von Regelstrategien und Regelfunktionen. So entstehen Missverständnisse, Ausfälle und Störungen des Betriebes der Solaranlage, die ohne Messtechnik oft schwer oder gar nicht zu

des Betriebes der Solaranlage, die ohne Messtechnik oft schwer oder gar nicht zu erkennen und noch schwerer zu lokalisieren und zu beheben sind.

Die für die Regelung von Solaranlagen geplante Norm ENV 12977-2 beschäftigt sich eher mit der Qualität und Genauigkeit der zugehörigen Sensoren als mit der Regelstrategie selber.

Deshalb hat die Projektgruppe Solarthermie-2000 an der FH Offenburg zusätzlich beantragt, einen Reglerteststand zu konzipieren, mit dem es möglich ist, Regelvorgänge in einer Solaranlage nachzustellen, zu simulieren und somit zu überprüfen und zu bewerten. Im Sommer 2003 ist der Teststand in Betrieb genommen worden.

Mit einem Reglerteststand (Bild 8) kann auch die oft unklare Regelbeschreibungen der Hersteller nachvollzogen und detaillierter dargestellt werden. Planer, Installateure und Regelungstechniker sollen in der Lage sein, die Steuerung ihrer Solaranlage nachvollziehen, verstehen und bewerten zu können.

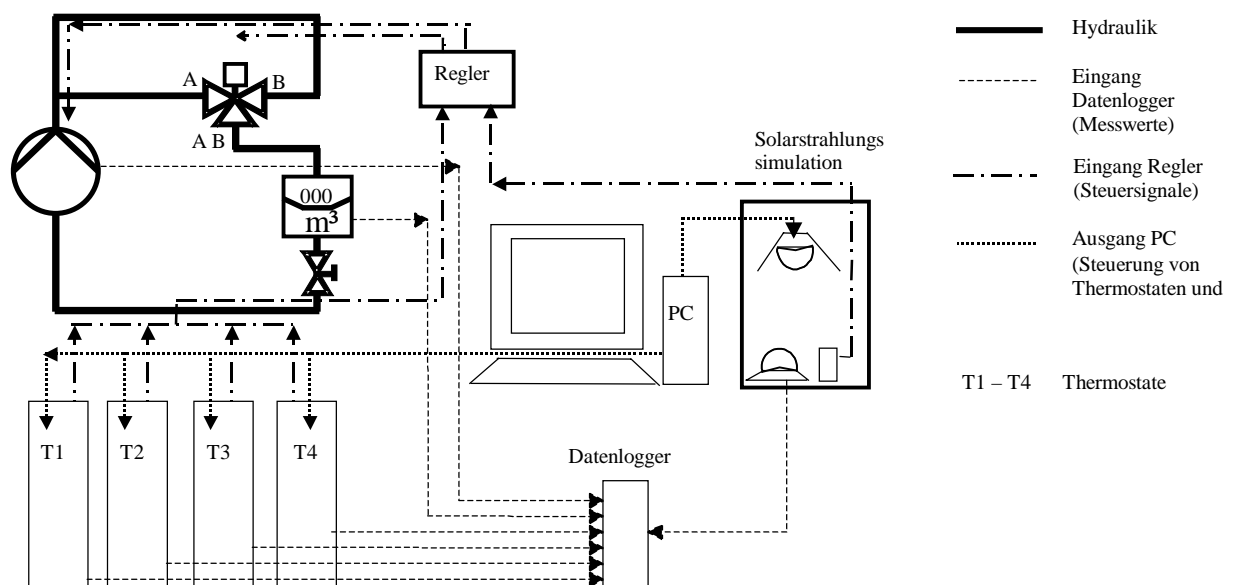


Bild 8: Schematische Darstellung des Reglerteststandes

Die Eingänge eines handelsüblichen Solarreglers sind Temperatur, Strahlung oder Volumenstrom. Der Ausgang schaltet eine Pumpe oder ein Ventil. Ein Regler muss einzelne Eingangssignale miteinander vergleichen und daraufhin ein Ausgangssignal generieren.

Im Teststand werden die Temperaturen real erzeugt, aber nicht durch eine Solaranlage sondern durch Thermostate. Der zusätzliche Einsatz einer Strahlungsquelle ermöglicht auch den Test von Reglern, die die Einstrahlung als Einschaltsignal verwenden. Die Erweiterung mit einem Hydraulikkreis mit Pumpe und Ventil ermöglicht es, die Peripherie der Ein- und Ausgänge eines Solarreglers abzudecken.

Ein PC steuert vier Thermostate an und gibt Temperaturen aber auch Temperaturprofile oder gemessene Temperaturverläufe vor. Wahlweise kann auch die Strahlungsquelle angeschlossen werden. Die Sensoren des Reglers, die dadurch auch mit geprüft werden, erfassen die Tempe-

raturen oder die simulierte Einstrahlung und der Regler gibt ein entsprechendes Stellsignal aus. Das Stellsignal bewirkt das Ein- bzw. Ausschalten der Pumpe.

Der Betrieb der Pumpe oder das Schalten eines Ventils wird vom PC erfasst und zusätzlich durch LED angezeigt. Der erzeugte Volumenstrom wird gemessen um auch geregelte Pumpen erfassen zu können. Sämtliche Messwerte werden vom PC aufgezeichnet und können dann ausgewertet werden.

Der Teststand befindet sich derzeit in der Erprobungsphase.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Betreuung solarthermischer Großanlagen im Programm Solarthermie-2000 entstand eine dichte Datendecke und wertvolle Erfahrungen, auf die Planer, Betreiber und andere Interessierte zugreifen können. Es wurde ein Standard entwickelt, so dass die Förderung dieser Anlagen nun im Markanreizprogramm und nicht mehr als Demonstrationsanlagen erfolgt.

Der Bau eines Teststandes ist ein weiterer Schritt zur Qualitätssicherung. Es ist so möglich zu prüfen, ob ein Regler die Anforderungen, die speziell an große Solaranlagen gestellt werden, erfüllt.

### Literatur

- [1] Uta-Maria Klingenberger, Elmar Bollin, Sascha Himmelsbach; „Untersuchungen zum Steuer- und Regelverhalten von solaren Großanlagen zur Trinkwassererwärmung im Rahmen des Solarthermie-2000 Programms“, Zehntes Symposium Thermische Solarenergie in Staffelstein, Juni 2000
- [2] Peuser, F.A.; Croy, R.; Rehrmann, U.; Wirth, H. P.: Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen, Fachinformationszentrum Karlsruhe; TÜV-Verlag, Köln, 1999
- [3] Remmers, Karl-Heinz; „Große Solaranlagen“; Solarpraxis Berlin 1999
- [4] Sascha Himmelsbach, Elmar Bollin, Uta-Maria Klingenberger; “Solare Dusch- und Beckenwassererwärmung in der albtherme Waldbronn“, 13. Symposium Thermische Solarenergie in Staffelstein, Mai 2003
- [5] <http://www.fh-offenburg.de/mv/st2000/>