



*Dynamische Trinkwasser-
temperatur- statt Temperatur-
differenz-Regelung*

Modernes Regelkonzept erhöht Solarertrag

Rudolf Klein
Frank Zimmermann***

Ausgehend von einer Analyse des Status quo der Regelungstechnik heutiger Solaranlagen zeigt der nachfolgende Fachartikel eine Möglichkeit zur Ertragssteigerung durch regelungstechnische Maßnahmen auf. Da der weitaus größte Teil der heute installierten solarthermischen Anlagen zur Trinkwassererwärmung eingesetzt wird, beschränken sich die Betrachtungen auf diese Solaranlagen.

Eine solargestützte Heizungsanlage zur Trinkwassererwärmung (Bild 1) läßt sich in zwei Teile gliedern: in den solarthermischen Anlagenteil und in die konventionelle Wärmeerzeugung. Bindeglied ist der bivalente Speicher-Wassererwärmer. Die Wärme aus dem solarthermischen Anlagenteil wird über den unteren Wärmetauscher im Speicher an das Trinkwasser abgegeben. In Phasen, in denen die Solaranlage den Wärmebedarf zur Trinkwasserer-

wärmung nicht vollständig decken kann, erhitzt der Wärmeerzeuger den oberen Speicherteil. Solaranlage und konventioneller Wärmeerzeuger haben jeweils eine eigene, autarke Regelung.

Regelungsstrategie bei einer Standard-Solaranlage

Die Regelung der Solaranlage hat grundsätzlich die Aufgabe, die Umwälzpumpe des solarthermischen Anlagenteils so ein- bzw. auszuschalten, daß

- die eingestrahlte Sonnenenergie optimal genutzt wird
- und gleichzeitig keine elektrische Energie für den Betrieb der Umwälzpumpe bei unzureichender Solareinstrahlung aufgewendet wird.

Die Regelung ist meist eine Temperaturdifferenzregelung in Verbindung mit zwei Temperaturfühlern. Ein Fühler wird an der wärmsten Stelle des Kollektorkreises, im Kollektor (Kollektorfühler), plaziert und der zweite Fühler im unteren Bereich des Speicher-Wassererwärmers (Speicherfühler). Übersteigt die Temperatur des Kollektorfühlens die des Speicherfühlens um die Einschalttemperaturdifferenz, schaltet die Regelung die Umwälzpumpe des Solarkreises ein. Diese fördert dann das von der Sonne erwärmte Wärmeträgermedium vom Kollektor in den unteren Wärmetauscher, wo es seine Wärme an das Trinkwasser abgibt. Der Solaranlage steht somit im Idealfall das ganze Volumen des Speicher-Wassererwärmers zur Speicherung der solar erzeugten Wärme zur Verfügung.

Bei Schlechtwetterperioden oder bei großem Warmwasserbedarf reicht der Er-

trag der Solaranlage mitunter nicht aus, um den Energiebedarf der Trinkwassererwärmung zu decken. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, muß der konventionelle Wärmeerzeuger in Verbindung mit dem Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers den Warmwasserbedarf alleine, d. h. ohne Berücksichtigung der Solaranlage, decken können. Dies ist bei Ein- und Zweifamilienhäusern durch eine Dimensionierung von Speicher-Wassererwärmer und konventionellem Wärmeerzeuger nach DIN 4708 zu gewährleisten. Reicht die gewonnene Solarenergie nicht zur Bedarfsdeckung aus, so wird am oberen Speicherfühler - dieser ist mit der Regelung des Wärmeerzeugers verbunden - die eingestellte Soll-Temperatur unterschritten. Um Komforteinbußen zu verhindern, heizt der konventionelle Wärmeerzeuger den Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers auf die eingestellte Soll-Temperatur.

Fazit: Die jeweils autarken Regelungen von Wärmeerzeuger und Solaranlage ermöglichen keine abgestimmte Betriebsweise beider Anlagenteile. Die negativen Folgen werden nachfolgend an einem Beispiel erläutert.

Nachheizung trotz Solarwärmeangebot

Vielfach wird der Speicher-Wassererwärmer durch abendliche Zapfungen und durch Auskühlverluste teilweise entladen. Durch die morgendlichen Zapfungen sinkt das Temperaturniveau weiter ab. Dabei kann es vorkommen, daß die Temperatur im Speicher-Bereitschaftsteil temporär unter die vom Anlagenbetreiber eingestellte Soll-Temperatur absinkt. Insbesondere an son-

* Dipl.-Ing. Rudolf Klein, Bereich Technische Entwicklung Regelungen, Buderus Heiztechnik, 35573 Wetzlar

** Dipl.-Ing. Frank Zimmermann, Produktmanagement Wärmeverteiler und alternative Energien, Buderus Heiztechnik, 35573 Wetzlar

nigen Tagen wird dem Speicher jedoch genügend Solarenergie zur Beheizung des gesamten Wasservolumens zur Verfügung gestellt, so daß eine Beheizung des Bereitschaftsteils durch den Wärmeerzeuger eigentlich nicht erforderlich wäre. Weil jedoch zwischen den beiden Regelungen kein Informationsaustausch stattfindet, wird der Bereitschaftsteil trotzdem durch den Wärmeerzeuger auf die Soll-Temperatur erwärmt. Die Nachteile dieses Regelverhaltens liegen auf der Hand:

- Trotz großem Solarertrag kann es zur Nachheizung durch den konventionellen Wärmeerzeuger kommen.
- Das für die solare Beheizung zur Verfügung stehende Volumen des Speicher-Wassererwärmers wird verringert.
- Deckungsgrad und Nutzungsgrad der Solaranlage werden unnötig verschlechtert, das solare Angebot nicht optimal genutzt.
- Es werden mehr Ressourcen verbraucht und mehr CO₂ produziert als nötig.

Zwar hat sich die beschriebene Anlagenkonfiguration in der Praxis bewährt, die primären Ziele beim Betrieb einer Solaranlage werden aber damit nicht optimal erreicht. Bleibt die Frage nach entsprechenden Problemlösungen.

Möglichkeiten der Optimierung

In herkömmlichen Solaranlagen mit einer konventionellen Regelung ist es nur mit Hilfe manueller Eingriffe möglich, den solaren Ertrag weiter zu steigern. Dafür bieten sich folgende Möglichkeiten an:

● Manuelle Absenkung der Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil

Durch das Herabsetzen des Temperaturniveaus im Bereitschaftsteil

steht der Solaranlage ein größeres Trinkwasservolumen bei niedriger Temperatur zur Beheizung zur Verfügung. Der Kollektorkreis arbeitet längere Zeit auf einem niedrigen Temperaturniveau, der Wirkungsgrad der Solaranlage steigt an. Nachteilig ist dabei die Verringerung des Warmwasserkomforts in Zeiten ohne solaren Ertrag. Für ein Wannbad wird bei einem niedrigen Temperaturniveau im Speicher-Wassererwärmer dann ein größeres Wasservolumen benötigt. Im Extremfall kann der Speicher dabei vollständig entladen werden. Dies läßt sich nur vermeiden, wenn die Trinkwassertemperatur möglichst genau an den solaren Ertrag angepaßt wird, so daß zu jedem Zeitpunkt ein ausreichender Warmwasserkomfort sichergestellt wird. Manuell ist dies jedoch nicht mit vertretbarem Aufwand zu realisieren.

● Zeitkanal für die konventionelle Nachheizung

Verfügt die Regelung des konventionellen Wärmeerzeugers über einen Zeitkanal für die Trinkwassererwärmung, läßt sich die konventionelle Nachheizung auf die späten Nachmittagsstunden begrenzen. Für die folgenden abendlichen und morgendlichen Zapfungen steht dann eine ausreichende Menge Warmwasser zur Verfügung. Der Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers muß dabei den gesamten Warmwasserbedarf eines Tages bevorraten. Durch

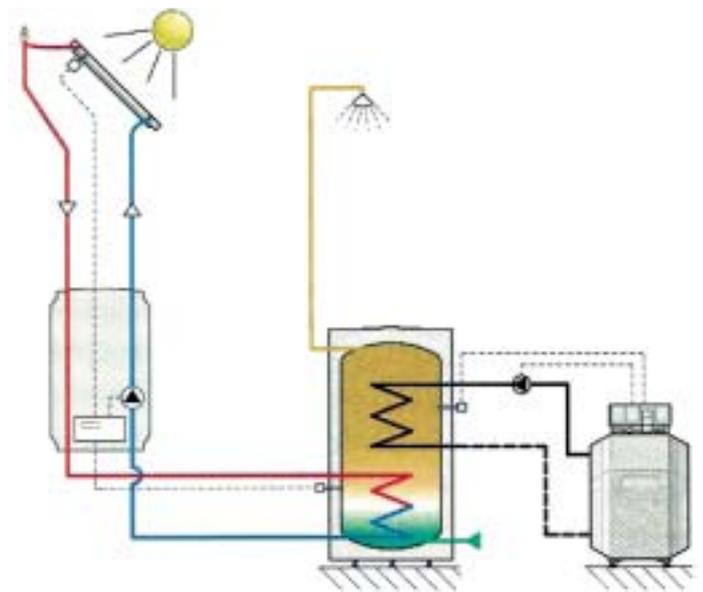


Bild 1: Systemaufbau einer Standard-Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

die Zapfungen am Abend und am nächsten Morgen sinkt das Temperaturniveau im Speicher ab, so daß der Solaranlage tagsüber ein vergleichsweise großes Volumen zur Erwärmung zur Verfügung steht. Da allerdings die Regelung des konventionellen Wärmeerzeugers die solar gewonnene Wärmemenge im unteren Teil des Speicher-Wassererwärmers nicht berücksichtigt, wird der Bereitschaftsteil stärker erwärmt, als es zur Sicherstellung des Warmwasserkomforts erforderlich ist. Somit schöpft die Solaranlage auch mit dieser Regelstrategie ihr Potential nicht optimal aus. Im nachfolgenden Abschnitt wird dies näher dargelegt.

Zur weiteren Optimierung des solaren Ertrags und zur Eliminierung der vorgenannten Schwachstellen, müssen beide Anlagenteile besser aufeinander abgestimmt werden. Bei der Regelung „Logamatic 2107“ von Buderus mit dem Solarmodul „FM 244“ werden die Regelung für die Solaranlage und den konventionellen Wärmeerzeuger in einem Produkt integriert (siehe Bild 2) und intelligent miteinander verknüpft. Basis dieser Regelung ist die Erfassung der Temperaturen im oberen und unteren Teil des Speichers. Mit Hilfe dieser Daten werden der aktuelle solare Ertrag, die im Speicher-Wassererwärmer vorhandene Wärmekapazität sowie die Zapfvorgänge erfaßt, und die Nachladung durch einen gas- oder ölbefeuerten Kessel der Baureihe „Logano“ darauf abgestimmt. Je nach aktuellem solarem Ertrag und der im Speicher-Wassererwärmer gespeicherter Wärmemenge senkt die Regelung die Soll-Temperatur im Speicher-

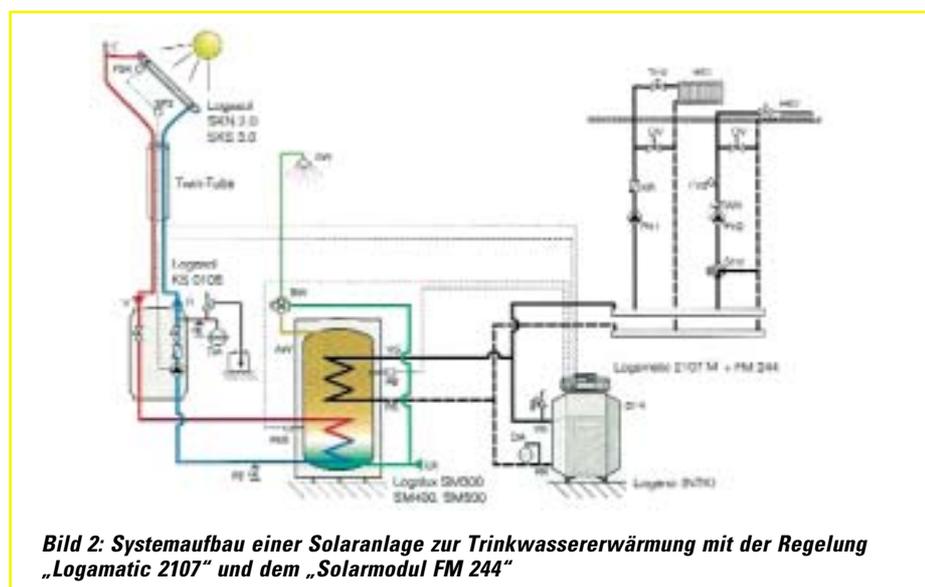


Bild 2: Systemaufbau einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit der Regelung „Logamatic 2107“ und dem „Solarmodul FM 244“

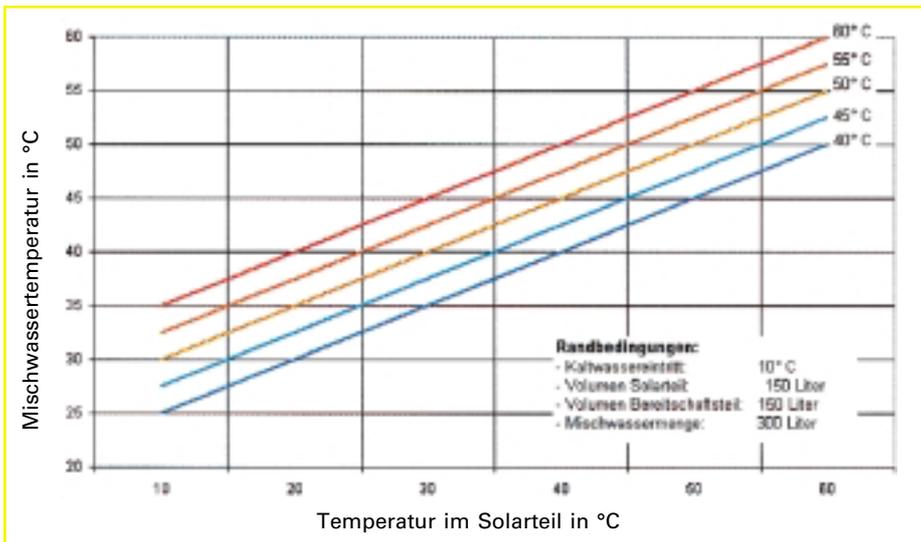


Bild 4: Mischwassertemperatur in Abhängigkeit von der Temperatur im Solarteil des Speicher-Wassererwärmers

Bereitschaftsteil ab und verhindert somit ein unnötiges Nachheizen durch den Wärmeerzeuger.

Absenkung aufgrund der gespeicherten Wärmemenge

Die in einem Speicher-Wassererwärmer vorhandene Wärmemenge hängt von der Temperatur des darin befindlichen Trinkwassers ab. Angenommen, der Betreiber einer Solaranlage benötigt eine bestimmte Menge warmes Wasser (z. B. für ein Duschbad), so kann dieses nach Bild 4 auf zwei-erlei Art erzeugt werden.:

- (linker Teil Bild 3) Mit einer geringen Menge sehr heißem Wasser (z. B. 60 °C) unter Beimischung einer großen Menge von kaltem Wasser (z. B. 10 °C bei entsprechender Kaltwassertemperatur) an der Zapfstelle.
- (rechter Teil Bild 3) Durch eine entsprechende Menge wunschgemäß temperierten Wassers.

In der folgenden Beispielrechnung wird ein bivalenter Solarspeicher mit 300 Litern Wasserinhalt während einer Schlechtwetterperiode betrachtet. Der konventionelle Wärmeerzeuger erwärmt den Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers mit 150 Litern Wasserinhalt auf eine Soll-Temperatur von 60 °C. Bei einer Kaltwassereintritts-temperatur von 10° C ergibt sich im Bereitschaftsteil eine gespeicherte Wärmemenge von:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$$Q = 150 \text{ kg} \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kWh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (60 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) = 8,7 \text{ kWh}$$

Eine größere Wärmemenge kann der Wärmeerzeuger nicht in den Speicher-Wassererwärmer einbringen. Wie bereits erwähnt, muß der Wärmeerzeuger in Verbindung mit dem Speicher-Bereitschaftsteil alleine in der Lage sein, den Warmwasserkomfort sicherzustellen. Bei ordnungsgemäßer Pla-

nung reicht die Wärmemenge von 8,7 kWh in Verbindung mit der Dauerleistung des Wärmeerzeugers somit zur Bedarfsdeckung aus. Im obigen Beispiel hat die Sonne den unteren Speicherteil aber schon auf 30 °C aufgeheizt. Somit steht im solar beheizten Bereich zusätzlich eine Wärmemenge von 3,5 kWh zur Verfügung, im gesamten Speicher-Wassererwärmer sind es 12,2 kWh. Damit liegt eine größere Wärmemenge vor, als planungsgemäß zur Bedarfsdeckung benötigt wird. Durch die im unteren Teil eingebrachte Solarwärme, muß der Bereitschaftsteil zur Bedarfsdeckung eigentlich nicht mehr auf 60 °C aufgeheizt werden. Zur Bedarfsdeckung reicht auch eine niedrigere Temperatur aus. Die Wärmekapazität des Trinkwassers im gesamten Speicher-Wassererwärmer kann somit als Maß für die Absenkung der Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil genutzt werden.

Absenkung aufgrund des solaren Ertrages

Die konventionelle Nachheizung hat die Aufgabe bei unzureichendem Solarertrag der Kollektoren den Warmwasserkomfort sicherzustellen. Im Umkehrschluß bedeutet dies, daß bei ausreichendem Solarertrag keine konventionelle Nachheizung erfolgen muß. Nun gibt es keine Regelung „mit integriertem Wetterfrosch“, die bereits weit im Vorfeld einer Zapfung den solaren Ertrag aufgrund der allgemeinen Wetterlage erkennt. Eine Regelung kann jedoch über

die Temperaturveränderung an den Speicherfühlern erfassen, ob die Kollektoren aktuell solare Wärme in den Speicher-Wassererwärmer einbringen. Je schneller die Temperatur am Speicherfühler ansteigt, desto größer ist der Solarertrag der Kollektoren. Ein schneller Temperaturanstieg am Speicherfühler veranlaßt die Regelung, die Soll-Temperatur im Speicher-Bereitschaftsteil abzusenken. Durch die niedrige Temperatur im oberen Speicherteil steht der Solaranlage ein größeres Potential zur Wärmeabgabe zur Verfügung. Zapfungen sowie kleinere Einbrüche des Solarertrages durch vorbeiziehende Wolken, werden erkannt und ignoriert bzw. herausgefiltert.

Typische Absenkung

Eine typische Absenkung der Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers zeigt Bild 5. Die tatsächliche Absenkung der Soll-Temperatur im Bereit-

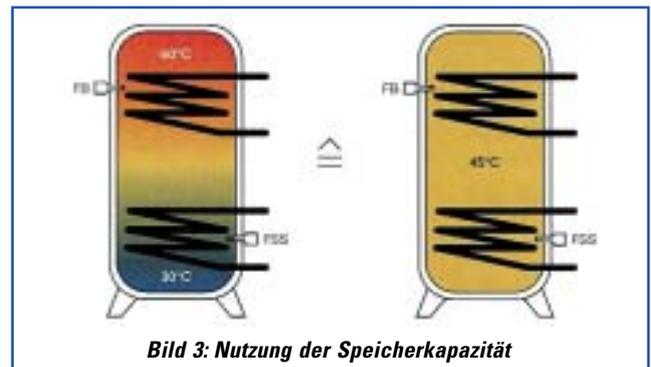


Bild 3: Nutzung der Speicherkapazität

schaftsteil errechnet sich die Regelung aus den beiden Einflüssen:

- Absenkung aufgrund der gespeicherten Wärmemenge im Speicher-Wassererwärmer und
- Absenkung aufgrund des solaren Ertrages.

Im Praxisbetrieb werden beide Absenktemperaturen addiert und ergeben letztlich die vom konventionellen Wärmeerzeuger sicherzustellende Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers. Eine Begrenzung für diese Absenkung erfolgt durch die Eingabe einer „minimalen Speichertemperatur“. Mit diesem Parameter kann der Anlagenbetreiber zwischen maximalem Warmwasserkomfort (z. B. 55 °C als minimale Speichertemperatur am oberen Speicherfühler) und der maximierten Nutzung der Sonnenenergie (z. B. 45 °C als minimale Speichertemperatur am oberen Speicherfühler) wählen.

Nachheizung durch Wärmeerzeuger

Eine Nachheizung durch den konventionellen Wärmeerzeuger findet somit statt wenn:

- Die berechnete Absenkttemperatur im Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers (oberer Speicherfühler) unterschritten wird
- oder wenn der eingestellte Wert für die minimale Speichertemperatur im Bereitschaftsteil (oberer Speicherfühler) unterschritten wird.

Übersteigt die Temperatur im unteren, solar beheizten Teil die eingestellte minimale Speichertemperatur, so führt dies ebenfalls zu einer Absenkung der Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil. Selbst wenn die Sonne untergegangen ist, bleibt die solare Absenkung somit aktiv. Erst wenn eine entsprechend große Menge Trinkwasser aus dem Speicher gezapft wurde, wird die Absenkung der Soll-Temperatur des Bereitschaftsteils rückgängig gemacht und es erfolgt eine Nachladung durch den konventionellen Wärmeerzeuger.

Im Gegensatz zur Regelung einer herkömmlichen Temperaturdifferenzregelung wird die konventionelle Nachheizung durch die dynamische Absenkung der Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers auf ein Minimum reduziert. Somit steht der Solaranlage ein großes Potential zur Beladung zur Verfügung. Die Berücksichtigung der oberen und der unteren Temperatur im Speicher stellt außerdem einen ausreichenden Warmwasserkomfort sicher.

Bis zu 10% Primärenergieeinsparung

Befragungen haben ergeben, das bei der Mehrzahl der Betreiber von Solaranlagen die Entlastung unserer Umwelt das primäre Ziel beim Kauf war. Vor diesem Hintergrund werfen die obigen Ausführungen die Frage auf, welche zusätzliche Entlastung die dynamische Trinkwasser-Solltemperatur-Absenkung gegenüber konventionellen Temperaturdifferenzregelungen für die Umwelt bringt. Nach einer Studie des Fraunhofer Instituts für solare Energiesysteme in Freiburg kann mit diesem Regelungskonzept bei der Trinkwassererwärmung eine zusätzliche Primärenergieeinsparung bis zu 10 % gegenüber konventionellen Temperaturdifferenzregelungen erreicht werden. Ein weiterer positiver Effekt

ergibt sich bei der Brennerstarthäufigkeit. Durch das beschriebene Regelungskonzept kann die Brennerstarthäufigkeit für die Trinkwassererwärmung um bis zu 24 % gegenüber konventionellen, autarken Kessel- und Solarregelungen gesenkt werden. Da die Schadstoffemissionen beim Starten und Abschalten des Brenners um ein Vielfaches über den Emissionen beim stationären Brennerbetrieb liegen, ergibt sich durch diese Technik eine weitere Entlastung der Um-

Eine gemeinsame Regelung von Wärmeerzeuger und Solaranlage kann die konventionelle Nachheizung des Bereitschaftsteils so regeln, daß der Solarertrag der Anlage deutlich gesteigert und die zur Trinkwassererwärmung erforderliche Primärenergie des konventionellen Wärmeerzeugers um bis zu 10 % gesenkt wird. Die Berücksichtigung des aktuellen Ertrages der Solaranlage sowie die im gesamten Speicher-Wassererwärmer vorhandene Wärmekapazität die-

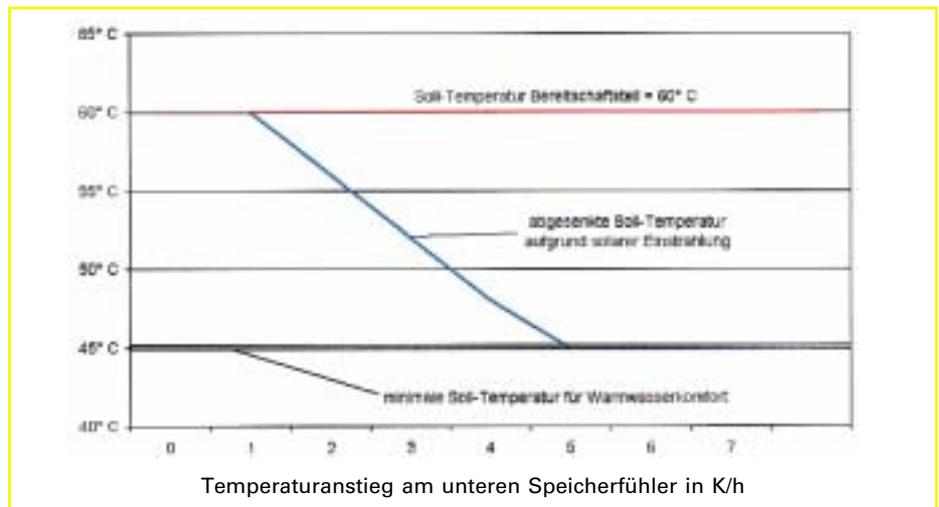


Bild 5: Absenkung der Soll-Temperatur im Bereitschaftsteil des Speicher-Wassererwärmers aufgrund solaren Ertrages (= Funktion der Temperaturanstiegsgeschwindigkeit am Speicherfühler)

welt. Die mit der Simulationssoftware „ColSim“ erstellte Studie basiert auf einem täglichen Warmwasserbedarf von 180 Litern bei 45 °C Zapftemperatur (Bedarf einer vierköpfige Familie) sowie auf neun Zapfungen pro Tag. Die Solaranlage besteht aus einer 4,2 m² großen Kollektorfläche und aus einem bivalenten Speicher-Wassererwärmer mit 300 Litern Inhalt. Die Simulation berücksichtigt neben dem solaren Ertrag die Verluste im Kollektorkreis sowie die Verluste des Speichers und des atmosphärischen Gas-Niedertemperaturkessels.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß bei der konventionellen Temperaturdifferenzregelung das solare Strahlungsangebot nur teilweise genutzt wird. Die jeweils autarken Regelungen von Wärmeerzeuger und Solaranlage ermöglichen keine abgestimmte Betriebsweise. Trotz ausreichendem solaren Strahlungsangebot und/oder ausreichender Wärmekapazität im Speicher-Wassererwärmer wird der Bereitschaftsteil mitunter durch den konventionellen Wärmeerzeuger beheizt. Dadurch reduziert sich das Potential zur solaren Speicherbeheizung.

nen als Parameter zur konventionellen Nachheizung des Bereitschaftsteils. Dies ermöglicht eine Maximierung des Solarertrages bei gleichzeitiger Wahrung der Komfortansprüche der Anlagenbetreiber.

Literatur:

- [1] Buderus Heiztechnik GmbH: Planungsunterlage Solartechnik Logasol zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung
- [2] Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE: Abschlußbericht ColSim-Systemstudie zum Solar-system Buderus
- [3] Target GmbH: Handbuch SHK-Fachkraft Solartechnik
- [4] Target GmbH: Evaluation der Kampagne Solarenergie kommt