

# **Einfluss von Systemertrag und Pumpenlaufzeit auf die energetische Amortisationszeit von thermischen Solaranlagen**

*E. Streicher, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen*

*Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)*

*Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart*

*Tel.: 0711 / 685-3536, Fax: 0711 / 685-3503*

*Email: streicher@itw.uni-stuttgart.de, Internet: <http://www.itw.uni-stuttgart.de>*

## **1 Einleitung**

Eine entscheidende Größe für die Beurteilung von thermischen Solaranlagen ist die energetische Amortisationszeit. Dies ist die Zeit, welche die Anlage in Betrieb sein muss, um die Primärenergie einzusparen, die für Herstellung, Betrieb und Entsorgung aufgewendet wurde. Der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung der Solaranlage allein ist nicht der maßgebliche Einflussfaktor auf die energetische Amortisationszeit. Der Ertrag der Solaranlage und die aufgewendete Hilfsenergie sind ebenfalls wichtige Größen und stellen daher ein weiteres Optimierungspotential dar.

Maximaler Systemertrag und das Bestreben jeden Sonnenstrahl zu nutzen, führen oft zu Reglereinstellungen mit möglichst kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Kollektorausstritt und Speicher. Diese bewirken unter Umständen ein häufigeres An- und Abschalten der Pumpe im Kollektorkreislauf sowie längere Pumpenlaufzeiten.

In diesem Beitrag wird gezeigt, welche Auswirkungen verschiedene Reglereinstellungen auf die Betriebsenergie der Solaranlage und auf deren energetische Amortisationszeit haben. Dies wird anhand von Simulationsrechnungen mit TRNSYS untersucht. Dabei werden an einer „Standard-Solaranlage“ die Einschalt- und Ausschalt-Temperaturdifferenzen variiert.

## **2 Referenzfall**

Als „Standard-Solaranlage“ wird eine typische Solaranlage zur Trinkwassererwärmung für ein Einfamilienhaus mit 5 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und einem Speichervolumen von 300 Litern definiert. Das Bereitschaftsvolumen beträgt 150 Liter. Alle Simulationen wurden in TRNSYS mit den gleichen Randbedingungen (siehe Tabelle 1) durchgeführt. Variiert wurden die Einschalt- und Ausschalttemperaturdifferenzen am Regler. Die Einschalttemperaturdifferenz ist die Temperaturdifferenz zwischen Kollektorausstritt und Speicher, bei der die Pumpe einschaltet und das Wärmeträgerfluid durch den Kollektorkreis pumpt. Sie wurde variiert von 1 K bis 20 K. Wird die angegebene Ausschalttemperaturdifferenz erreicht, schaltet die Pumpe wieder aus. Diese Temperaturdifferenz wurde zwischen 1 K und 15 K variiert.

Für nachfolgende Untersuchungen sind als Ausgabedaten der Simulationen die anteilige Energieeinsparung der Solaranlage und die Pumpenlaufzeit interessant.

Randbedingungen für die Simulationsrechnungen	
Wetterdaten:	Testreferenzjahr Würzburg
Dachausrichtung:	Süd, Anstellwinkel 45 °
Warmwasserverbrauch:	200 Liter/Tag 7.00 Uhr: 80 Liter; 12.00 Uhr: 40 Liter; 19.00 Uhr: 80 Liter Warmwassertemperatur: 45 °C Kaltwassertemperatur: 10 ± 3 °C (jahreszeitabhängig) jährlicher Trinkwasserwärmebedarf: 2945 kWh
Kollektorkreis:	Länge Vorlauf und Rücklauf jeweils 10 m verlegt im Innenbereich
Speicher:	Umgebungstemperatur: 15 °C Nachheizung: 15 kW, Volumenstrom: 1292 l/h Trinkwassersolltemperatur: 52,5 °C

Tabelle 1: Randbedingungen für die durchgeführten Simulationsrechnungen

Aus der anteiligen Energieeinsparung der Solaranlage lässt sich das substituierte Primärenergieäquivalent ( $PEA_{sub}$ ) ermitteln, welches die durch die Solaranlage eingesparte Energie repräsentiert. Multipliziert man die anteilige Energieeinsparung mit der von der konventionellen (nicht solaren) Anlage benötigten Energiemenge, so erhält man den Anteil, der durch die Solaranlage eingespart wurde. Die benötigte Energiemenge einer konventionellen Anlage zur Trinkwassererwärmung sowie die Wärmeverluste des Trinkwasserspeichers wurden dem europäischen Normentwurf prEN 12977-2 [1] entnommen, in welchem ein Warmwasserbedarf von 2945 kWh und die Wärmeverluste des Speichers mit 644 kWh spezifiziert sind.

Mit der aus den Simulationen erhaltenen Pumpenlaufzeit kann auf den jährlichen Primärenergiebedarf der Pumpe zurückgerechnet werden. Mit Ansatz einer typischen Leistungsaufnahme der Pumpe von 50 W erhält man den jährlichen Energiebedarf der Solarkreispumpe. Dieser lässt sich durch Multiplikation des Primärenergieäquivalentes für Strom von 3,8 kWh<sub>primär</sub>/kWh [2] auf den jährlich benötigten Primärenergiebedarf der Pumpe umrechnen.

Beide Größen, das substituierte Primärenergieäquivalent und der jährlich benötigte Primärenergiebedarf der Pumpe gehen mit in die Berechnung der energetischen Amortisationszeit ein. Dabei wird der Primärenergiebedarf der Pumpe als ein Anteil des kumulierten Energieaufwandes für den Betrieb der Solaranlage  $KEA_b$  im eingesetzten Primärenergieäquivalent  $PEA_{ein}$  (Gleichung 1) berücksichtigt. Die energetische Amortisationszeit ergibt sich durch Gegenüberstellung des eingesetzten und des substituierten Primärenergieäquivalentes (Gleichung 2).

$$PEA_{ein}(t) = KEA_h + KEA_b \cdot t + KEA_w \cdot t \quad (1)$$

$$t = AZ = \frac{KEA_h}{Q_{conv,tot} - Q_{aux,tot} - KEA_b - KEA_w} \quad (2)$$

Für die übrigen Einflussgrößen auf die energetische Amortisationszeit der Solaranlage, wird ebenfalls mit typischen Werten der definierten „Standard-Solaranlage“ gerechnet. Der kumulierte Energieaufwand zur Herstellung  $KEA_h$  wurde mit

3967 kWh, der kumulierte Energieaufwand für Wartung  $KEA_w$  mit 41 kWh/a und der Primärenergiebedarf des Solarreglers wird mit 57 kWh/a angesetzt.

Um die Ergebnisse der Simulationen besser vergleichen zu können, werden sie auf einen Referenzfall bezogen. Der Referenzfall weist eine Einschalttemperaturdifferenz von 10 K und eine Ausschalttemperaturdifferenz von 2 K auf. Tabelle 2 zeigt die für diesen Referenzfall ermittelten Ausgabedaten der Simulationsrechnung sowie die bestimmenden Größen der energetischen Amortisationszeit.

Ergebnisse Referenzfall (Einschalttemperaturdifferenz: 10K, Ausschalttemperaturdifferenz: 2K)				
anteilige Energieeinsparung [%]	PEA sub [kWh/a]	Pumpenlaufzeit [h]	Primärenergiebedarf der Pumpe [kWh/a]	Energetische Amortisationszeit [a]
51.69	2423	1821	346	2.0

Tabelle 2: Ergebnisse der Simulationen für den Referenzfall

### 3 Betriebsstunden

Variiert man, wie oben beschrieben, die Einschalttemperaturdifferenz von 1K bis 20 K und die Ausschalttemperaturdifferenz von 1 K bis 15 K, ergeben sich Pumpenlaufzeiten von 429 h bis 2395 h. Bezogen auf den Referenzfall (1821 h) entspricht dies einer Erhöhung von 32 % im Extremfall bei einer Ausschalttemperaturdifferenz von 1 K und einer Einschalttemperaturdifferenz von 2 K. Der andere Extremfall, kurze Pumpenlaufzeiten bei hohen Einschalt- (20 K) und Ausschalttemperaturdifferenzen (15 K), liefert eine Reduktion der Pumpenlaufzeit von 76 %. Abbildung 1 zeigt die Laufzeiten der Solarkreispumpe in Abhängigkeit von der Einschalttemperaturdifferenz bei fünf verschiedenen Ausschalttemperaturdifferenzen. Der Referenzfall ist in den nachfolgenden Abbildungen mit einem Stern gekennzeichnet.

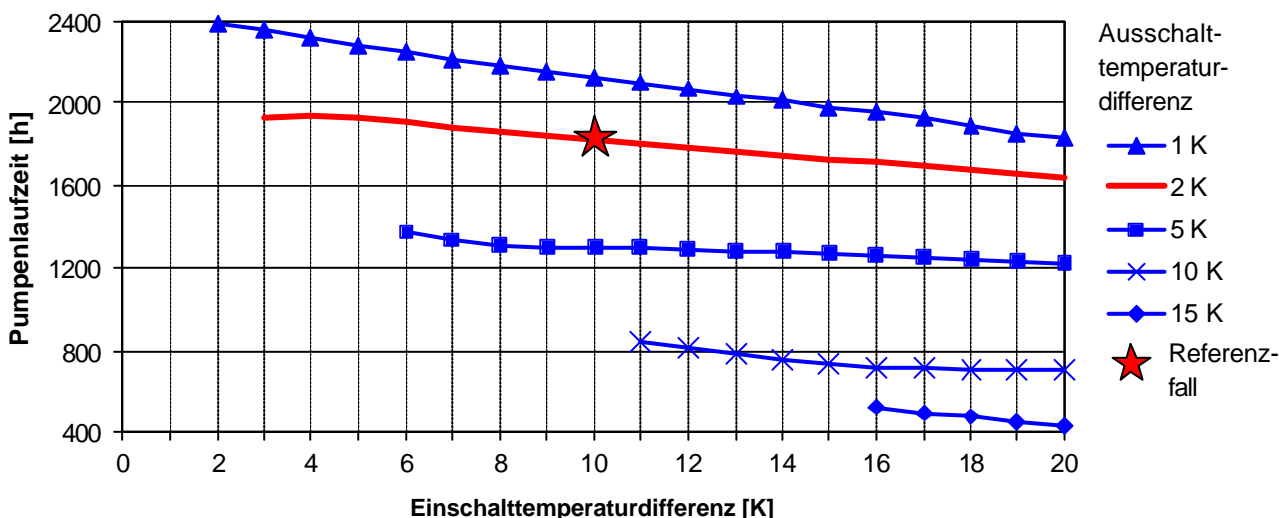


Abbildung 1: Laufzeiten der Solarkreispumpe in Abhängigkeit von der Einschalttemperaturdifferenz

## 4 Anteilige Energieeinsparung

Betrachtet man das Verhalten der anteiligen Energieeinsparung, so fällt auf, dass diese bei geringeren Einschalt-/Ausschalttemperaturdifferenzen wie im Referenzfall (Einschalt-/Ausschalttemperaturdifferenz: 10/2) nur geringfügig steigt.

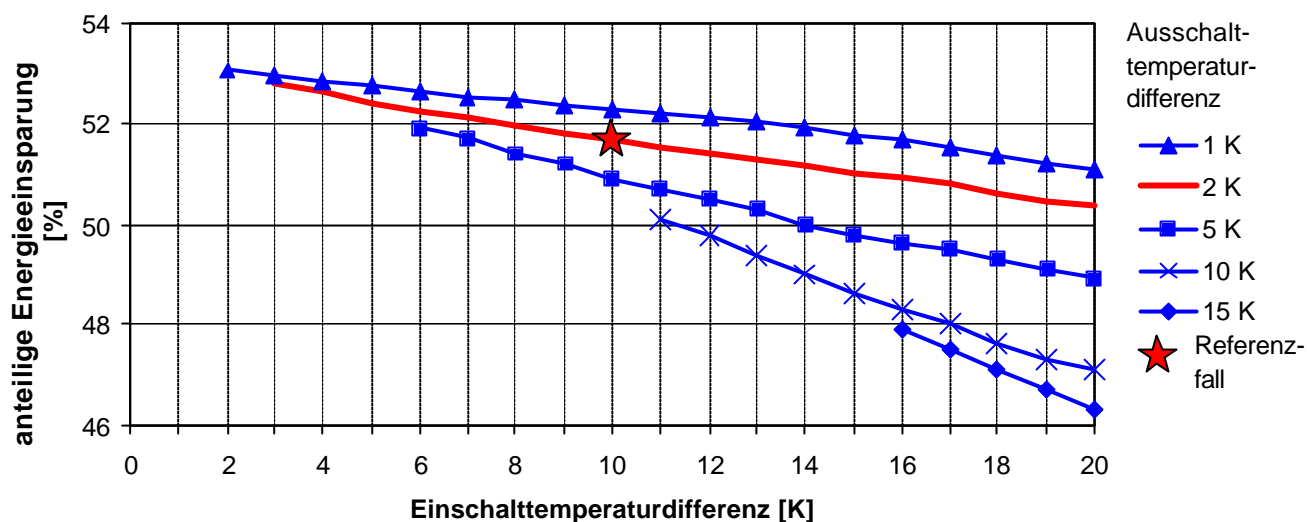


Abbildung 2: Anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Einschalttemperaturdifferenz

Umgerechnet auf das Primärenergieäquivalent ergibt sich für den Referenzfall mit einer anteiligen Energieeinsparung von 51,69 % ein substituiertes Primärenergieäquivalent von 2423 kWh/a. Niedrige Ein- und Ausschalttemperaturdifferenzen ergeben im Extremfall (Einschalt-/Ausschalttemperaturdifferenz: 2/1) eine anteilige Energieeinsparung von 53,04 %, was einem substituierten Primärenergieäquivalent  $PEA_{\text{sub}}$  von 2486 kWh/a entspricht. Bezogen auf den Referenzfall bedeutet dies lediglich eine Erhöhung um 2,6 %.

Stellt man den daraus entstehenden Gewinn dem Mehrverbrauch an Primärenergie durch die höheren Betriebsstunden der Solarpumpe gegenüber, stellt man fest, dass durch die längeren Pumpenlaufzeiten ein gegenüber dem Referenzfall erhöhter Primärenergiebedarf von 109 kWh/a entsteht. Dieser überschreitet den erzielten höheren Ertrag von 63 kWh/a, so dass sich dadurch sogar ein Mehrverbrauch an Primärenergie von 46 kWh/a ergibt. Allerdings stellt dies den Extremfall dar. In Abbildung 3 ist dieser Sachverhalt für die Ausschalttemperaturdifferenzen 1K, 2K, 5K, 10K und 15K aufgezeigt. Dargestellt ist die Differenz in kWh zwischen der Abweichung des substituierten Primärenergieäquivalentes im Referenzfall und der Abweichung des jährlichen Primärenergiebedarfs der Solarkreispumpe, in Bezug auf den Referenzfall. Bei einer Einschalttemperaturdifferenz von 11K und einer Ausschalttemperaturdifferenz von 10K beispielsweise, wird der Primärenergiebedarf der Pumpe durch kürzere Laufzeiten um 186 kWh/a gesenkt und es ergibt sich gegenüber dem Referenzfall eine Senkung des  $PEA_{\text{sub}}$  von 75 kWh/a, was zusammen einen Gewinn von 111 kWh/a ausmacht.

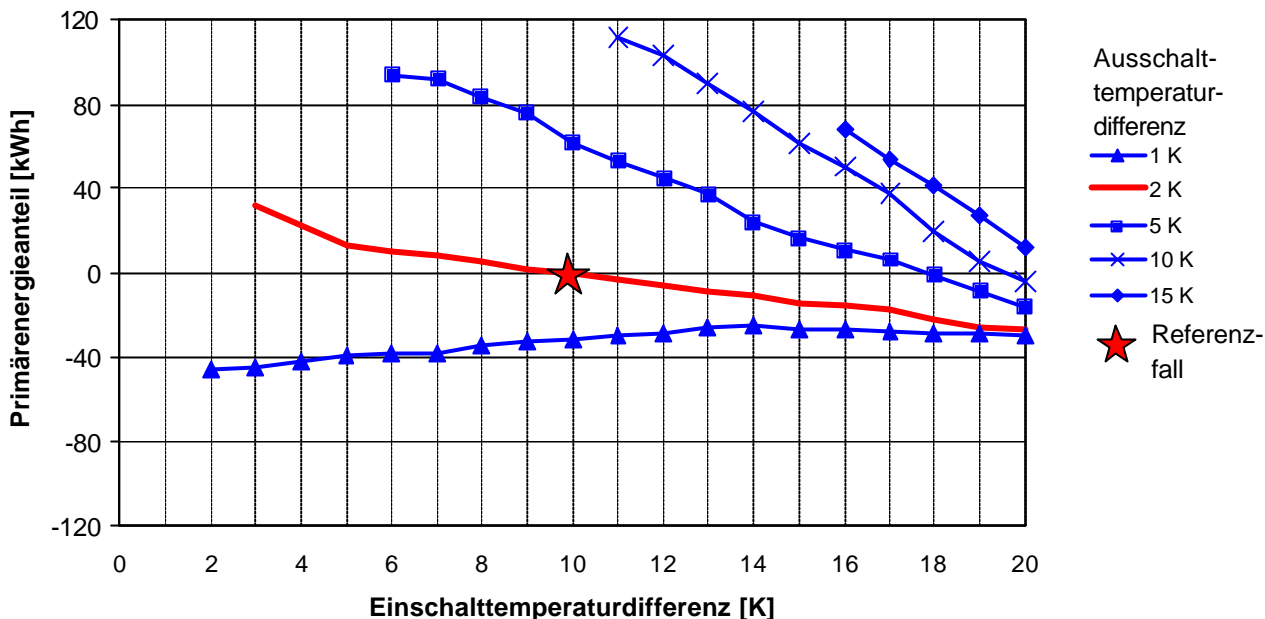


Abbildung 3: Darstellung des Mehr- bzw. Minderertrags bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen in Bezug auf den Referenzfall

## 5 Energetische Amortisationszeit

Mit obigen Ergebnissen lässt sich die energetische Amortisationszeit nach Gleichung 2 berechnen. Der tendenzielle Verlauf entspricht quasi den Aussagen in Abbildung 3. Eine Einsparung an Primärenergie bewirkt eine Senkung der energetischen Amortisationszeit. Die energetischen Amortisationszeiten liegen bei den untersuchten Varianten zwischen 1.90 und 2.15 Jahren. Diese Unterschiede erscheinen gering, doch muss hierbei berücksichtigt werden, dass eine Reduktion der energetischen Amortisationszeit um 0.1 Jahre, bei einer Anlage wie im Referenzfall, die eine energetische Amortisationszeit von 2.0 Jahren aufweist, immerhin einer Verbesserung von rund 5 % entspricht.

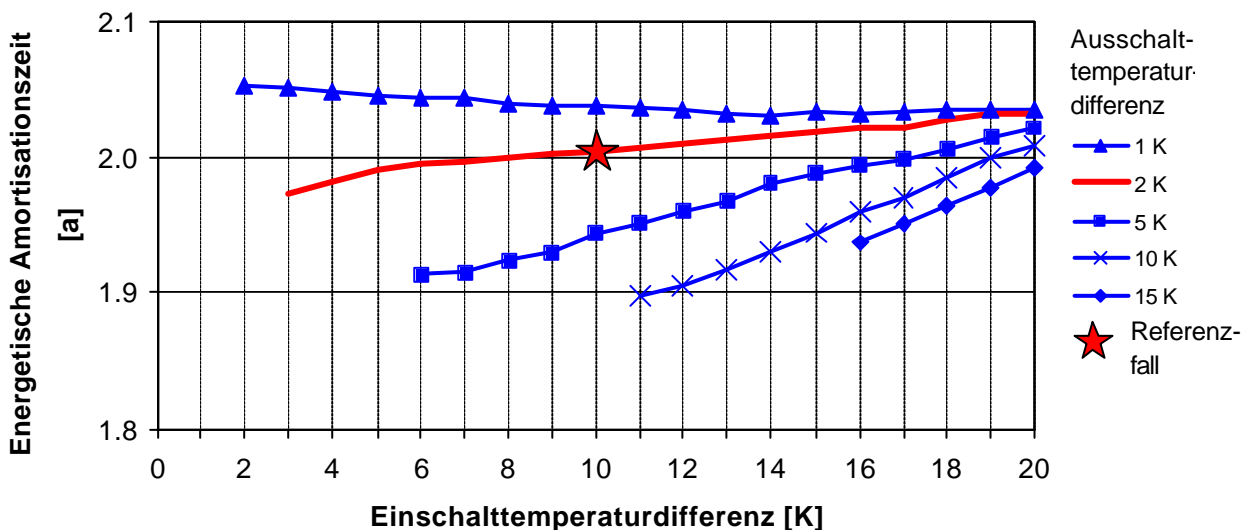


Abbildung 4: Energetische Amortisationszeit bei unterschiedlichen Ein- und Ausschalttemperaturdifferenzen

Abbildung 4 zeigt, dass bei einer Wahl von Einschalt-/Ausschalttemperaturdifferenz 11/10 das absolute Minimum erreicht wird. Erhöht man die Ausschalttemperaturdifferenz weiter auf 15K, liegen die energetischen Amortisationszeiten wieder höher.

Die Ergebnisse stellen den prinzipiellen Zusammenhang zwischen eingestellten Temperaturdifferenzen, anteiliger Energieeinsparung und Pumpenlaufzeiten dar, liefern jedoch keine allgemeingültige Aussage, da sie außerdem auch von anderen Größen, wie Rohrleitungen und Massenstrom, abhängen.

## 6 Zusammenfassung

Die Untersuchung belegt, dass Reglereinstellungen mit geringen Temperaturdifferenzen zwar einen höheren Solarertrag bewirken, dass dieser Gewinn jedoch primärenergetisch betrachtet relativ gering ausfällt. Die geringen Ein- und Ausschalttemperaturdifferenzen bewirken wesentlich höhere Laufzeiten der Solarkreispumpe. Somit erfolgt eine Erhöhung der jährlich notwendigen Energie zum Betrieb der Solaranlage. Rechnet man die Betriebsenergie auf die notwendige Primärenergie um und stellt sie dem durch steigenden Ertrag höheren substituierten Primärenergieäquivalent gegenüber, stellt man fest, dass insgesamt kein Gewinn erzielt wird. Im Gegenteil, die notwendige Primärenergie für den Betrieb der Solarkreispumpe fällt oft mehr ins Gewicht, so dass sich primärenergetisch sogar eine Verschlechterung ergeben kann. Die Temperaturdifferenz sollte aus diesem Grund eher größer gewählt werden.

Aber auch ein anderes Argument spricht gegen Reglereinstellungen mit äußerst geringen Temperaturdifferenzen. Durch die Messungenauigkeit der verwendeten Temperaturfühler, die durchaus im Bereich von 1K liegen kann, kann es bei derartigen Einstellungen passieren, dass die Pumpe zu spät ausgeschaltet wird, und somit Wärme aus dem Speicher in den Kollektorkreis abgeführt wird.

Die Analyse zeigt deutlich, dass es wesentlich nutzbringender ist, die Ausschalttemperaturdifferenz höher zu wählen und gleichzeitig die Hysterese zwischen Einschalt- und Ausschalttemperaturdifferenz zu verringern, anstatt sich durch Reglereinstellungen mit geringen Temperaturdifferenzen auf die Maximierung des Solarertrages zu konzentrieren.

### Literatur:

- [1] prEN 12977-2: "Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 2: Prüfverfahren", 1997
- [2] Bundesamt für Energiewirtschaft: Ökoinventare für Energiesysteme, 3. Auflage, Zürich 1996