

10. April 1989

leicht geändert: 8. Mai 1990

Nur für internen Gebrauch bestimmt.

Es stellt sich die Frage, wann die Zirkulation im Solarkreis einschalten soll. Heute üblich sind zwei Varianten: Erstens wird die Kollektortemperatur gemessen. Mit dem Problem allerdings, dass das Delta-T gross gewählt werden muss, da die Wärmeverteilung im System ungleichmässig ist. Dem versucht man, als verbesserte Variante, mit einem Bypass und einem Lichtsensor zu begegnen. Der Schwellenwert des Lichtsensors wird aus Erfahrung auf ca. 100 - 200 W/m<sup>2</sup> eingestellt. Ob die Sonne dabei langsam stärker wird, oder ob sie plötzlich (z.B. nach einem Regen) hervortritt, bleibt dabei unberücksichtigt.

Da wir einen Computer zur Verfügung haben, lohnt es sich, die physikalische Realität genauer unter die Lupe zu nehmen und in einem Rechenmodell nachzubilden.

Tatsächlich massgebend ist die Temperatur, die der Kollektorkreis haben würde, wenn er zirkuliert. Zwar lässt sich mit einem Bypass dieser Wert einfach messen, Ziel ist es aber, die Temperatur zu wissen, ohne eine Zirkulation einschalten zu müssen.

Herleitung der Formel:

Vorerst nehmen wir an, dass die momentane Solarkreistemperatur bekannt sei, und dass wir nur die Temperaturänderung ausrechnen müssen.

Dabei gilt:

$$T_k' = T_k + dT_k$$

Die Temperatur Zu- oder Abnahme ist dabei abhängig von der Energiebilanz und der spezifischen Wärmekapazität des Solarsystems ( $c$ , Einheit: Wh/(m<sup>2</sup> x K)). Die Energiebilanz ist im weiteren abhängig von der Einstrahlung in Kollektorebene ( $G_k$ ) und dem Wirkungsgrad ( $A_o$ ), sowie dem Systemverlust ( $K_o$  + Leitungsverluste =  $K_s$ ). Demnach gilt:

$$T_k' = T_k + t \times G_k \times A_o / c - t \times K_s \times (T_k - T_a) / c$$

Die Erwärmung ist also das Produkt von Einstrahlung, Wirkungsgrad und Beobachtungsdauer ( $t$ ), bezogen auf die Wärmekapazität. Die Abkühlung ist das Produkt von K-Wert, Delta-T ( $T_a$  = Aussentemperatur) und Beobachtungsdauer, bezogen auf die Wärmekapazität.

Folgendes ist zu beachten:

1. Da diese Formel implizit ein Integral ist, muss  $t$  möglichst klein gewählt werden, theoretisch Limes gegen 0.
2. Da sich  $G_k$  und  $c$  auf  $m^2$  bezieht, kann man die Fläche weglassen. Das Gleiche gilt für  $K_s$  und  $c$ . Wir gehen dabei vereinfacht davon aus, dass sich die Rohrleitungsmassen und der Solarsystem-K-Wert proportional verhalten. Mit anderen Worten: die Erwärmungscharakteristik ist nicht von der Quadratmeterzahl des Kollektorfeldes abhängig.
3. Da die Verluste grösser sind, je grösser auch die Kollektortemperatur ( $T_k$ ) ist, gleicht sich ein anfänglich falscher Ausgangswert an. Die Formel hat eine asymptotische Charakteristik.

Die Formel lässt sich wie folgt zusammenfassen:

$$T_k' = T_k + t / c \times (G_k \times A_o - K_s \times (T_k - T_a))$$

$T_a$  kann gemessen werden

$G_k$  kann gemessen werden

$t$  kann relativ frei gewählt werden (je nach gewünschter Genauigkeit)

$c$  ist abhängig von der Konstruktion der Solaranlage

$A_o$  ist bekannt aus der Kollektorengleichung

$K_s$  ist abhängig vom Kollektor, der Rohrleitungen und deren Isolation

Sobald der Solarkreis durch den Bypass zirkuliert, ist  $T_k$  auch messbar.

Es geht nun darum, dass  $T_k'$  ausgerechnet werden kann, ohne den Solarkreis zirkulieren zu lassen. In der Praxis müssen wir dafür zu ein paar Kunstkniffen greifen.

Die Osiris-Steuerung misst in 15" Intervallen. Damit ist  $t$  definiert.

$T_k$  wird als bekannt angenommen. Es ist der Wert vom Vorzyklus.

$A_o$  wird als 0,8, und  $K_s$  als 3 W/( $m^2 \cdot K$ ) angenommen

$T_a$  wird gemessen, oder mangels Fühler mit 20° C angenommen.

Da alles sehr ungenaue Angaben sind, wird  $c$  mit einem Korrekturfaktor zusammengerechnet und als konstant angenommen.  $c$  wird beim Einschalten der Zirkulation zurückgerechnet, da ja dann  $T_k'$  bekannt ist.

$$c = t (G_k \times A_o - K_s \times (T_k - T_a)) / (T_k' - T_k)$$

Diese Formel wird allerdings "geglättet" und mit einem Sicherheitsfaktor versehen. Dadurch wird die Erfahrung berücksichtigt (adaptive Steuerung), sodass der Solarkreis immer etwas zufrüh, keinesfalls aber zuspät einschaltet. Es wird immer überprüft, dass  $T_k$  nie kleiner ist als  $T_a$ , gegebenenfalls wird  $T_k$  durch  $T_a$  ersetzt.

Tatsächliche Funktion in der Osiris-Steuerung:

$$T_k' = T_k + (G_k \times 0,8 - 3 \times (T_k - T_a)) / c' ; c' = c / t \text{ (empirisch)}$$

Gleichung der Einheiten:

$$G_k \times 0,8: W/m^2 ; 3 \times (T_k - T_a): W/m^2/K \times ^\circ K = W/m^2; \text{ dies einsetzen:}$$

$$T_k + W/m^2 \times t / c: ^\circ C + W/m^2 \times h / (Wh / (m^2 \times K)) , \text{ daraus folgt:}$$

$$: ^\circ C + W/m^2 \times h \times m^2 \times ^\circ C / Wh , \text{ und durch k\u00fcrzen:}$$

$$^\circ C + ^\circ C = T_k' \text{ in } ^\circ C$$

Die Gr\u00f6ssenordnung von c kann sehr unterschiedlich sein. Einstweilen nehmen wir folgenden Bereich an: 3 ... 60 Wh/(m<sup>2</sup> x K). Dies entspricht der W\u00e4rmekapazit\u00e4t von 2,6 ... 51,6 Liter Wasser.

Somit verl\u00e4sst c' folgenden Bereich sicher nicht:

$$t = 15 \text{ s} = 1/240 \text{ h}; c' = 2,6 \dots 51,6 \times 240 = 624 \dots 12384 \text{ W}/(m^2 \times K)$$

Als Kollektortr\u00e4gheit wird dieser durch 64 dividiert, wobei dieser Wert im Servicemodus abgelesen werden kann und beim Protokolldrucker ausgedruckt wird.

Technische \u00c4nderungen vorbehalten.

**Vakusolar AG, Eulenweg 10, 8048 Zuerich**