

Leseprobe aus Kapitel 13 ‚Signalverarbeitung, dynamisch‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

Weitere Informationen zum Buch finden Sie unter strukturbildung-simulation.de

Dieses Beispiel simuliert einen thermischen Solar-Kollektor. Das ist die Grundlage zur folgenden Berechnung einer Solar-Thermie-Anlage.

13.1.1 Simulation eines Solar-Kollektors

Nun folgt eine Ersatzschaltung und die Detail-Struktur des thermischen Solar-Kollektors. Sie wird zur Simulation einer Brauchwasser-Zusatzheizung gebraucht, die im Anschluss behandelt werden soll. Eine Ersatzschaltung des Solar-Kollektors sieht aus:

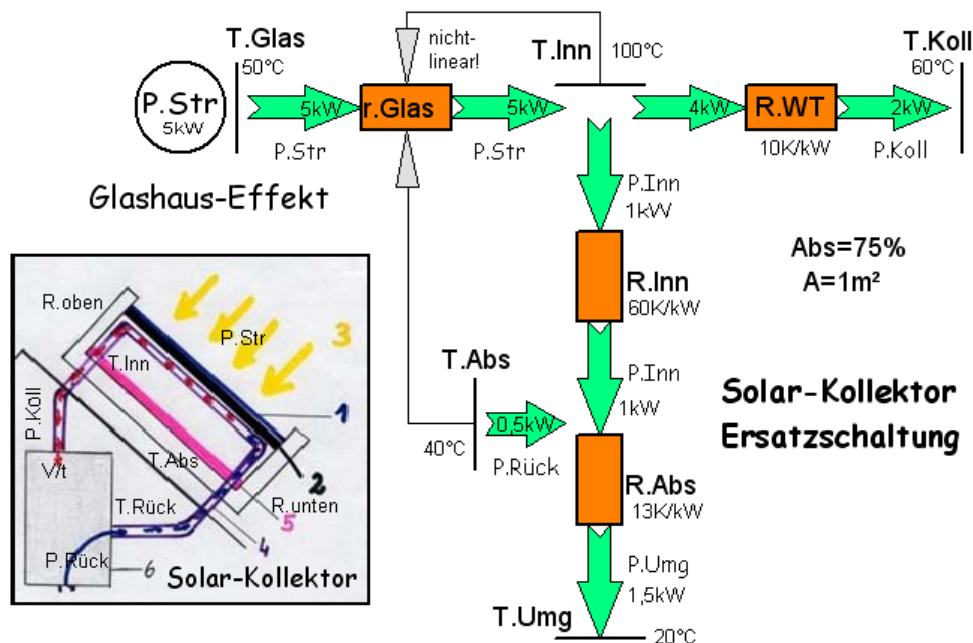
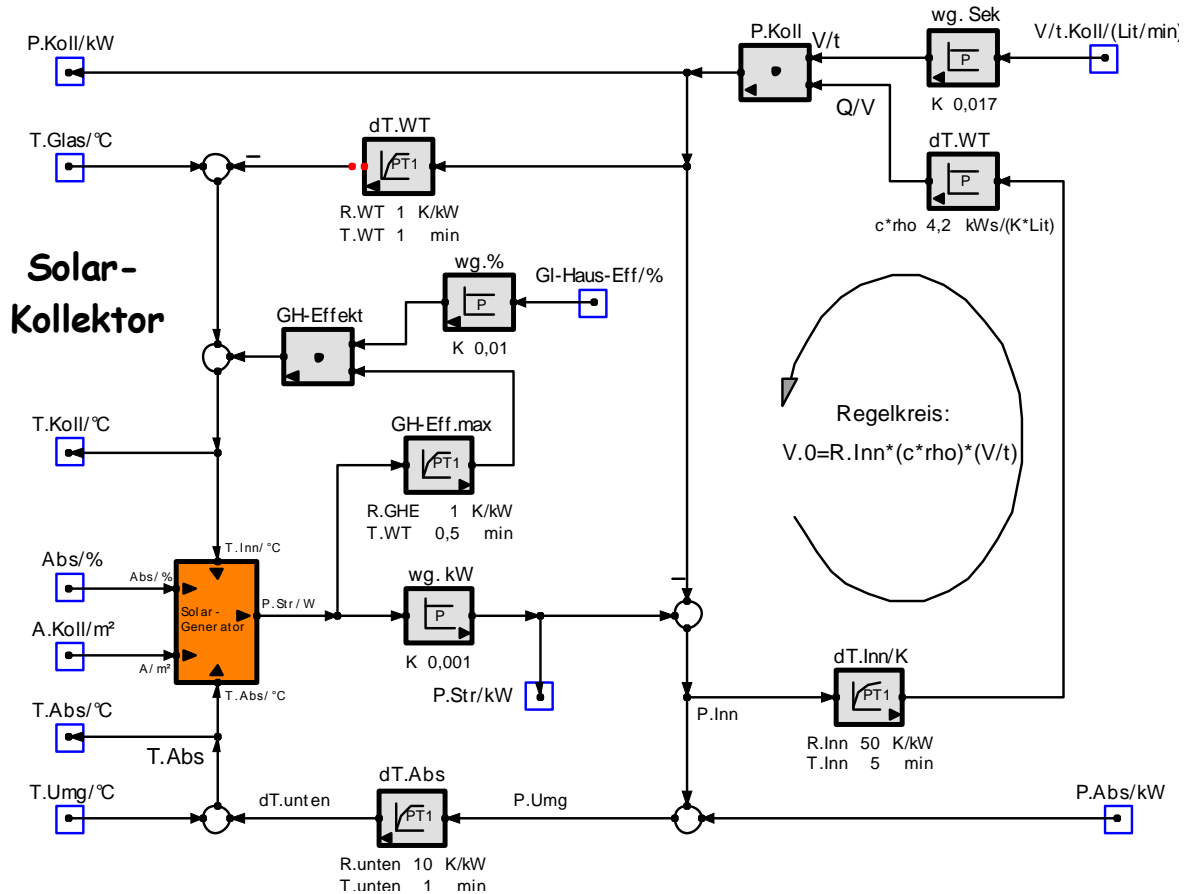


Abb. 13-35 Ersatzschaltung eines Solar-Kollektors. Vier thermische Widerstände werden zur Beschreibung gebraucht: R.Abs für den Absorber zur Umgebung, R.Inn für die Kopplung zwischen Kollektor-Oberseite zum Absorber auf der Unterseite, R.WT für die Rohre des Wärmetauschers im Absorber und -r.GHE zur Beschreibung des Glashauss-Effekts. Alle genannten Widerstände ergeben sich aus den gemessenen oder abgeschätzten Temperaturen und Leistungen.

Die durch den Treibhaus Effekt erzeugte Strahlungsleistung $P.Str$ fließt in diesem Beispiel zum größeren Teil als $P.Koll$ zum Wärmespeicher ab. Der kleinere Teil $P.Inn$ fließt über den Kollektor-Innenwiderstand $R.Inn$ und den Absorber-Widerstand $R.Abs$ zur Umgebung ab (Verlust). Unten wird eine Leistungs-Rückwirkung $P.Rück$ vom Speicher zum Kollektor berücksichtigt. Die folgende Abbildung zeigt die Struktur eines Solar-Kollektors:



Struktur 13-21 Solar-Kollektor: Zur Berechnung der Kollektor-Leistung wird die durch die Sonnenstrahlung erzeugte Innen-Temperatur und die Temperatur $T_{\text{Rück}}$ des zurückfließenden Kältemittels benötigt. Der Volumenstrom des Wärmemittels bestimmt die vom Kollektor an einen Speicher abgegebene Leistung. Der Speicher wiederum wirkt mit einem Teil seiner Leistung P_{Abs} auf den Absorber zurück.

Zur Berechnung der Erwärmung des Brauchwasser-Speichers müssen wir die **Kollektor-Leistung** P_{Koll} kennen, die der Solar-Kollektor an den Speicher abgibt. Sie ist proportional zum **Volumenstrom** V/t des Wärmemittels (Wasser) in den Kollektor-Leitungen:

$$P_{\text{Koll}} = Q/t = (Q/V) \cdot (V/t).$$

Die **Wärmedichte** Q/V ist wiederum proportional zur Differenz ΔT der **Temperaturen im Inneren** T_{Inn} des Kollektors und im **Absorber** T_{Abs} und dem **Volumenstrom** V/t des Wärmemittels in den Absorber-Rohren. Die zugehörige Proportionalitäts-Konstante ist die **Wärmedichte** $Q/V = c \cdot \rho$ - mit der **Wärme-Kapazität** c und **Dichte** ρ des Wassers:

$$Q/V = c \cdot \rho = 4,2 \text{ kWs}/(\text{K} \cdot \text{Lit})$$

Damit wird $P_{\text{Koll}} = (c \cdot \rho) \cdot (V/t) \cdot (T_{\text{Inn}} - T_{\text{Abs}})$.

Welche **Innen-Temperatur** T_{Inn} mit dem Solar-Kollektor durch den Treibhaus-Effekt erreicht wird, hängt von der Sonnenstrahlung und der Kollektor-Konstruktion ab. Wir wollen hier, als Beispiel, mit T_{Inn} bis zu 100°C rechnen.

Der Solar-Kollektor nimmt Leistung P_{Inn} auf, wenn er mehr **Strahlungsleistung** P_{Str} empfängt als er als P_{Koll} an den Brauchwasser-Speicher abgibt: $P_{\text{Inn}} = P_{\text{Str}} - P_{\text{Koll}}$.

P.Inn erhöht die **Kollektor-Innen-Temperatur T.Inn** gegenüber der **Absorber-Temperatur T.Abs** – und zwar umso stärker, je größer der **Kollektor-Innenwiderstand R.Inn** und der Treibhaus-Effekt ist.

Die Anpassung der Kollektor-Leistung P.Koll an die erzeugte Strahlungs-Leistung erfolgt durch einen Regelkreis mit den Komponenten R.Inn, $c \cdot \rho$ für den Wärme-Überträger ‚Wasser‘ und dessen Volumenstrom V/t. Ist R.Inn, hier 50K/kW, ausreichend groß, wird der größere Teil der Strahlungsleistung an den Kollektor abgegeben. Wäre R.Inn zu klein, flösse der größere Teil der Strahlungs-Leistung im Kollektor zur Umgebung ab. Damit das nicht passiert, muss die **Kreisverstärkung $V.0 = R.Inn \cdot c \cdot \rho \cdot (V/t)$** des Regelkreises groß gegen 1 sein:

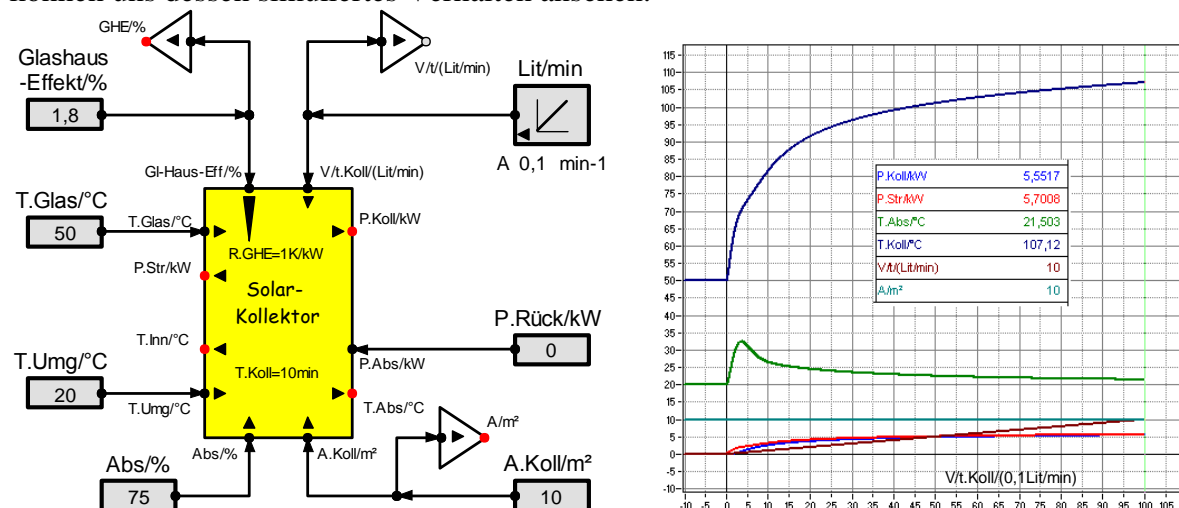
$$V.0 = P.Koll/P.Inn = R.Inn \cdot (c \cdot \rho) \cdot (V/t) \gg 1$$

V.0 wird durch den Wärmemittel-Strom V/t und den Kollektor-Innenwiderstand R.Inn groß gegen 1. Schon mit einer kleinen Pumpe ist $V/t > 6 \text{ Lit/min} = 0,1 \text{ Lit/s}$ erreichbar. Damit wird $V.0 \gg 1$, wenn $R.Inn \gg 2,4 \text{ K/KW}$ gebaut wird. Wir rechnen hier mit 50K/kW.

Der Absorber-Ableitwiderstand R.Abs zur Umgebung muss klein gegen R.Inn sein, damit sich der Absorber nicht zu sehr erwärmt. Wir rechnen hier mit 10K/kW. Die Zeitkonstanten der thermischen Widerstände – hier in Minuten - werden so eingestellt, dass das Zeitverhalten möglichst realistisch wird.

Zuletzt fehlt noch die Berechnung der **Absorber-Temperatur $T.Abs = T.Umg + \Delta T.Abs$** . Die **Absorber-Temperatur-Erhöhung $\Delta T.Abs = R.Abs \cdot P.Umg$** . Darin ist R.Abs der thermische Widerstand des Absorbers zur Umgebung. Die zur Umgebung abfließende Leistung P.Umg ist die Summe aus der **inneren Leistung P.Inn** des Kollektors und der vom Brauchwasser-Speicher **zurückfließenden Leistung P.Rück**. T.Abs bestimmt zusammen mit der **Innen-Temperatur T.Inn** des Kollektors die produzierte Strahlungs-Leistung.

Damit sind die inneren Zusammenhänge des thermischen Solar-Kollektors aufgeklärt und wir können uns dessen simuliertes Verhalten ansehen.



Struktur 13-22 Kollektor mit Block: simulierter Temperaturverlauf im Solar-Kollektor bei steigender Kühlwasser-Zirkulation. Bei 10Lit/min werden 97% der Strahlungsleistung zum Speicher übertragen.

Falls Sie über einen eigenen Kollektor verfügen und dessen Verhalten vom hier beschriebenen abweicht, sind die thermischen Widerstände und Zeitkonstanten anzupassen.