

Leseprobe aus Kapitel 13 ‚Wärme-Technik‘ des Buchs

‚Strukturbildung und Simulation technischer Systeme‘

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

Bei der Berechnung thermischer Solar-Kollektoren spielt der Treibhaus-Effekt eine wichtige Rolle. Hier wird gezeigt, wie er simuliert wird.

13.1.1 Die Strahlungs-Leistung

Nun soll die **maximal absorbierbare Strahlungsleistung P.max** berechnet werden. Wenn die tatsächliche Strahlungsleistung eines Solar-Kollektors gemessen worden ist, ermöglicht dies die Angabe seines Absorptions-Koeffizienten:

$$Abs = P.Str/P.max \cdot 100\%$$

Bei kommerziellen Solar-Kollektoren hängt der nutzbare Anteil der Sonnen-Strahlung von der Absorption des Kollektors ab: **elektronische Solarzellen** zur Strom-Erzeugung sind spiegelnd. Sie reflektieren etwa 85% der auftreffenden Strahlung. Thermische Kollektoren sind schwarz. Aber auch sie reflektieren noch bis zu einem Viertel der Strahlung. Immerhin erwärmen über 75% der Sonnenstrahlung das Wasser im Absorber.

Die Berechnung wird für einen **Schwarzen Strahler** durchgeführt. Dieser absorbiert alle Strahlung zu 100% und wird dadurch maximal erwärmt. Dazu dient z.B. eine hohle Stahlkugel mit einem kleinen Loch zur Messung der Temperatur und Strahlungs-Intensität. Im Innern der Kugel herrscht Total-Reflexion. Messungen durch **Stefan und Boltzmann** Ende des 19. Jahrhunderts und Berechnungen der **Strahlungs-Intensität (Int)** durch **Max Planck** ergaben, dass die Strahlungs-Leistung in **vierter Potenz(!)** mit der **absoluten Temperatur T** ansteigt:

$$Int.max = P.Str / A = 5,7W / m^2 * (T/100K)^4$$

Indem man eine Stahlkugel bis zur Weißglut erwärmte, konnte die **Schwarzstrahler-Konstante** in obiger Gleichung zu **5,7W/m²** bestimmt werden.

Die folgende Gleichung dient zur Berechnung der Intensität (=Leistung/Fläche) eines Solar-Kollektors mit teilweiser **Absorption (Abs)** der Sonnen-Strahlung:

$$Intensität = P.Koll / A = Abs * 5,7W / m^2 * [(T.Inn/100K)^4 - (T.Abs/100K)^4]$$

Durch Multiplikation der Intensität erhalten wir die Strahlungs-Leistung P.Str.

Als Struktur sieht die Strahlungs-Gleichung so aus:

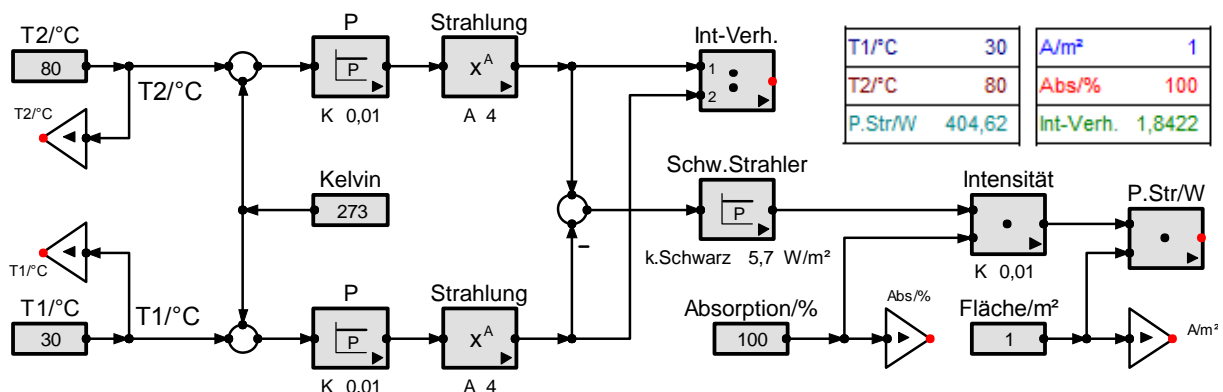


Abb. 13-50 Solar-Generator: Berechnung der maximalen Strahlungs-Leistung für 100% Absorption

13.4.2 Der Treibhaus-Effekt (THE)

Durch den Treibhaus-Effekt erwärmen sich bestrahlte, abgeschlossene Räume stärker als ihre Umgebung. Das wird z.B. bei Gewächshäusern ausgenutzt. Auch thermische Solar-Kollektoren nutzen den Treibhaus-Effekt. Ihn zu kennen, ist eine Voraussetzung zur Berechnung von Solar-Anlagen.

Sichtbares Sonnenlicht durchstrahlt nahezu ungehindert die Scheiben eines Glashauses und fällt auf den dunklen Erdboden. Das erzeugt bei Umgebungstemperatur (z.B. 20°C) langwelligeres Licht, das die Glasscheiben nur teilweise durchdringt. Dadurch erwärmt sich das Innere des Treibhauses, bis die Temperatur so hoch geworden ist, dass wieder ein Gleichgewicht zwischen einfallender kurzwelliger und reflektierter langwelliger Strahlung besteht (**Treibhaus-Effekt**).



Abb. 13-51 Der Treibhaus-Effekt erzeugt in Gewächshäusern tropische Temperaturen.

Vulkan-Ausbrüche und der Treibhaus-Effekt haben die Erde nach Eiszeiten mehrfach vor dauernder Vergletscherung bewahrt. Ohne ihn gäbe es hier kein Leben. Heute bedroht der Treibhaus-Effekt das höhere Leben durch Überhitzung.

Nach dem THE-Prinzip werden ganze Solar-Häuser gebaut. Sie erreichen bei Außen-Temperaturen unter 10°C Innentemperaturen über 20°C. Damit kann die Raumheizung in der Übergangszeit vollständig und im Winter teilweise ersetzt werden. Zur Zeit (2008) rentiert sich diese Investition aber noch nicht.

Der Treibhaus-Effekt ist eine **Mitkopplung**: steigende Strahlungs-Leistung erhöht die **Innen-Temperatur T.Inn** und die wiederum die **Strahlungs-Leistung P.Str**, bis ein Gleichgewicht zwischen der kurzwelligen Einstrahlung und der langwelligeren Rückstrahlung hergestellt ist. Dieser Verstärkungs-Effekt lässt sich durch einen **negativen Glasscheiben-Widerstand r.Glas** beschreiben:

$$T.Inn = T.Glas - r.Glas \cdot P.Str.$$

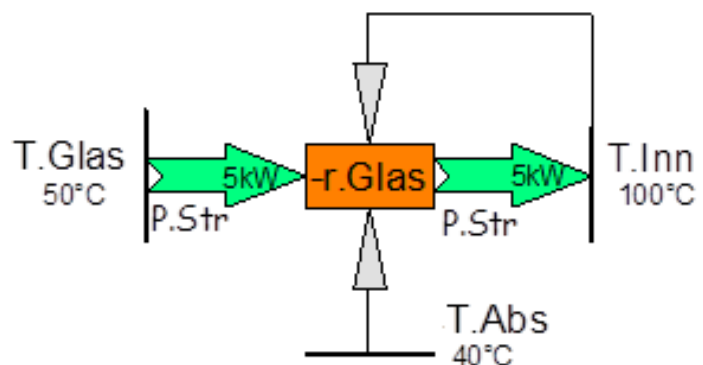


Abb. 13-52 Strahlungsleistung und Temperaturen eines Treibhauses: Durch den Treibhaus-Effekt fließt die Strahlungs-Leistung von der tieferen zur höheren Temperatur.

Simulation einer Gewächshaus-Temperatur

Ohne Treibhaus-Effekt würde nur dann ein Wärmestrom $P.Str$ von **außen** ($T.Glas$) nach **innen** ($T.Inn$) fließen, wenn $T.Glas > T.Inn$ wäre ($r.Glas$ wäre positiv). Mit Treibhaus-Effekt fließt ein Wärmestrom $P.Str$ in derselben Richtung **von der niedrigeren Außen-Temperatur $T.Glas$ zur höheren Innen-Temperatur $T.Inn$** . D.h. $r.Glas$ ist negativ.

Um die Leistungs-Verstärkung durch den Treibhaus-Effekt zu simulieren, betrachten wir die Struktur eines Solar-Kollektors. Die Erhöhung der Innen-Temperatur $T.Inn$ durch die Strahlungs-Leistung $P.Str$ wird hier durch einen Mitkopplungs-Widerstand $R.THE$ erreicht:

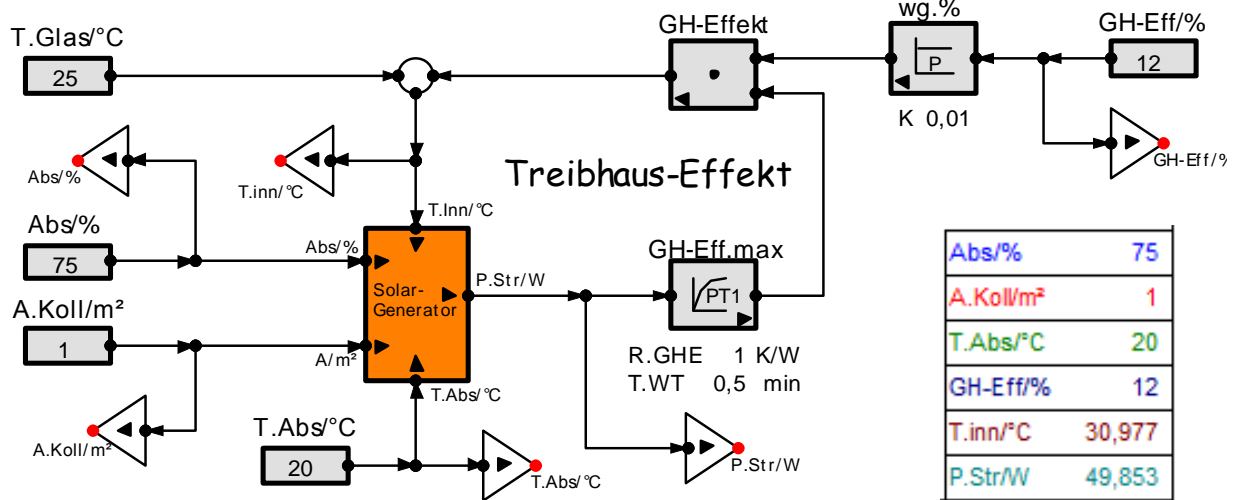


Abb. 13-53 Simulation des Treibhaus-Effekts: Gemessen wird die Außen-Temperatur $T.Glas$ des Glases. Durch Mitkopplung der Strahlungs-Leistung $P.Str$, beschrieben durch einen Kollektor-spezifischen Widerstand $R.GLH$, kann die Innen-Temperatur $T.Inn$ – und damit die Strahlungs-Leistung $P.Str$ – der Realität angepasst werden.

Der Widerstand $R.THE$ zur Beschreibung des Treibhaus-Effekts liegt in der Größenordnung $0,01K/kW$. Er wurde zu $1K/kW$ angenommen und ist durch den **Faktor $GLH-Eff$ in %** auf jeden realen Kollektor einstellbar. Ist $R.THE$ zu groß, wird die Simulation instabil.

Das ist hier für eine Glas-Temperatur gleich $50^{\circ}C$ und 75% Absorption bei $0,15K/kW$ der Fall.

Mit $R.THE = 0,12K/kW$ ergab sich eine Innen-Temperatur von $85^{\circ}C$ und eine Strahlungs-Leistung von knapp $300W/m^2$, was der Realität entspricht.

Ohne den Treibhaus-Effekt wäre die Erzeugung von warmem Wasser nicht möglich.

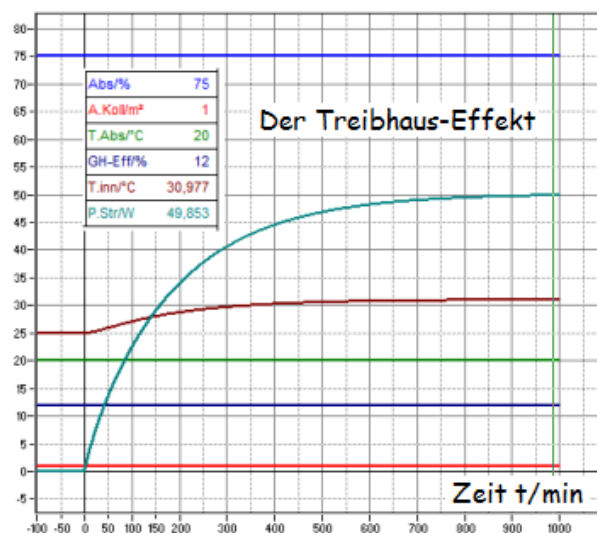


Abb. 13-54 Erwärmung eines Glas-Hauses mit der Zeit bei sprunghaftem Anstieg der Einstrahlung