

Fachliche Beschreibung des Berechnungsalgorithmus zur Solarstrahlungsberechnung

Dipl.-Ing. (FH) Jonas Pfeiffer

2024-09-04

1. Einleitung

Dieses Dokument beschreibt detailliert den Algorithmus zur Berechnung der Solarstrahlung, die auf eine geneigte Oberfläche trifft. Der Algorithmus berücksichtigt Wetterdaten eines Testreferenzjahres (TRY), die geografische Lage, den Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, die Neigung der Kollektorfläche und den Albedo-Effekt. Diese Methode wird zur Simulation von Solaranlagen verwendet, insbesondere für solarthermische Anwendungen in Wärmenetzen.

Yield calculation program for solar thermal energy in heating networks (calculation basis: ScenoCalc District Heating 2.0, <https://www.scfw.de/>)

2. Grundlagen

2.1 Grad-Radian-Konversion

Die Umrechnung von Grad in Bogenmaß erfolgt durch die Konstante:

$$\text{DEG_TO_RAD} = \frac{\pi}{180}$$

Diese Konstante wird verwendet, da trigonometrische Funktionen in Python Eingaben im Bogenmaß erwarten.

Die Funktion `deg_to_rad(deg)` wandelt einen Winkel θ in Grad in Bogenmaß um:

$$\theta_{\text{rad}} = \theta_{\text{deg}} \times \frac{\pi}{180}$$

3. Berechnung der Solarstrahlung

Die Hauptfunktion des Algorithmus ist `Berechnung.Solarstrahlung`, die die Strahlungsintensität auf einer geeigneten Kollektorfläche berechnet. Die Berechnung erfolgt in mehreren Schritten, die im Folgenden beschrieben werden.

3.1 Berechnung des Tagwinkels und der Zeitgleichung

Der Tag des Jahres N wird in einen Winkel B umgerechnet:

$$B = \frac{360 \times (N - 1)}{365}$$

Dieser Winkel ist notwendig, um die Sonnenposition im Jahreszyklus zu berechnen.

Die Zeitgleichung E , die die Abweichungen zwischen Sonnenzeit und Standardzeit berücksichtigt, wird mit folgender Formel berechnet:

$$E = 229.2 \cdot (0.000075 + 0.001868 \cos(B) - 0.032077 \sin(B) - 0.014615 \cos(2B) - 0.04089 \sin(2B))$$

3.2 Berechnung der Sonnenzeit

Die Sonnenzeit wird unter Berücksichtigung der geografischen Länge L , der Standardlänge des Zeitzone meridians L_{std} und der Zeitgleichung E berechnet:

$$t_{\text{solar}} = \frac{(t_{\text{Uhrzeit}} - 0.5) \cdot 3600 + E \cdot 60 + 4 \cdot (L_{std} - L) \cdot 60}{3600}$$

3.3 Sonnenzenitwinkel und Deklination der Sonne

Die Deklination der Sonne δ wird als Funktion des Tages des Jahres berechnet:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + N)}{365}\right)$$

Der Sonnenzenitwinkel SZA beschreibt den Winkel zwischen dem Lot auf die Erdoberfläche und den Sonnenstrahlen:

$$SZA = \arccos(\cos(\phi) \cos(h) \cos(\delta) + \sin(\phi) \sin(\delta))$$

wobei ϕ die geografische Breite und h der Stundenwinkel der Sonne ist:

$$h = -180 + t_{\text{solar}} \times \frac{180}{12}$$

3.4 Einfallswinkel auf die geneigte Fläche

Der Einfallswinkel $I_a C$ der Sonnenstrahlung auf die geneigte Fläche wird berechnet, um die Intensität der direkten Strahlung auf den Kollektor zu bestimmen:

$$I_a C = \arccos(\cos(SZA) \cos(CTA) + \sin(SZA) \sin(CTA) \cos(\gamma_S - \gamma_C))$$

wobei CTA der Neigungswinkel des Kollektors, γ_S der Sonnenazimutwinkel und γ_C der Azimutwinkel des Kollektors ist.

3.5 Berechnung der direkten und diffusen Strahlung

Die direkte Strahlung auf die horizontale Fläche G_{bhoris} wird berechnet als:

$$G_{bhoris} = D_L \cdot \cos(SZA)$$

Die diffuse Strahlung G_{dhoris} ergibt sich als Differenz zwischen der globalen Strahlung G und der direkten Strahlung:

$$G_{dhoris} = G - G_{bhoris}$$

3.6 Atmosphärischer Diffusanteil und Gesamtstrahlung

Der atmosphärische Diffusanteil A_i wird basierend auf der horizontalen Direktstrahlung G_{bhoris} und der Solarkonstanten (1367 W/m^2) wie folgt berechnet:

$$A_i = \frac{G_{bhoris}}{1367 \cdot (1 + 0.033 \cdot \cos(360 \cdot N/365)) \cdot \cos(SZA)}$$

Die Gesamtstrahlung $GT_H Gk$ auf der geneigten Oberfläche wird berechnet durch:

$$GT_H Gk = G_{bhoris} \cdot R_b + G_{dhoris} \cdot A_i \cdot R_b + G_{dhoris} \cdot (1 - A_i) \cdot 0.5 \cdot (1 + \cos(CTA)) + G \cdot \text{Albedo} \cdot 0.5 \cdot (1 - \cos(CTA))$$

Hierbei beschreibt R_b das Verhältnis der Strahlungsintensität auf der geneigten Fläche zur horizontalen Fläche.

4. Modifikation der Strahlung basierend auf dem Einfallswinkel (IAM)

Für die Anpassung der Strahlung aufgrund des Einfallswinkels wird der sogenannte Incidence Angle Modifier (IAM) verwendet. Dieser wird sowohl für die Ost-West- als auch für die Nord-Süd-Richtung berechnet. Der IAM wird durch eine Lookup-Tabelle für die Einfallswinkel interpoliert.

5. Zusammenfassung

Dieser Algorithmus berechnet die Solarstrahlung auf geneigten Flächen, basierend auf physikalischen Modellen und atmosphärischen Einflüssen. Durch die Berücksichtigung von direkter, diffuser und reflektierter Strahlung kann der Energieertrag einer Solaranlage realistisch simuliert werden. Diese Berechnung ist entscheidend für die Planung und Optimierung solarthermischer Anlagen.