FACHBEITRAG OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE · ERDWÄRMESONDEN

Sondenfeld und Bilanzgrad über 25 Jahre

Warum Erdwärmesondenfelder auskühlen – und was die Rückspeisung entscheidet

GeoStudys Consulting, Ingenieurbüro für Geotechnik, Umwelt und Geothermie, Berlin

KURZFASSUNG

Ein Erdwärmesondenfeld ist kein Brunnen, sondern ein Speicher. Wird einem dichten Feld Jahr für Jahr deutlich mehr Wärme entzogen als zurückgeführt, sinkt die Fluidtemperatur über Jahrzehnte. Der Beitrag erläutert den Bilanzgrad und die Berechnung über Linienquellen und zeigt an einer Studie für ein Hotelresort an der Ostseeküste, dass die Rückspeisung über Betrieb oder Auskühlung entscheidet.

SCHLAGWÖRTER · Erdwärmesonden · Sondenfeld · Bilanzgrad · Regeneration · VDI 4640 · Langzeitsimulation

1 Ausgangslage

Anlagen bis 30 kW werden nach Tabellenwerten ausgelegt, die VDI 4640 Blatt 2 auf 50 Betriebsjahre bezieht [1], [4]. In einem dichten Feld überlagern sich die Temperaturtrichter der Nachbarsonden; innen kühlt es stärker aus, von Jahr zu Jahr mehr. Größere Anlagen sind deshalb mit dem realen Lastgang zu simulieren.

2 Bilanzgrad

Maßgebend ist das Verhältnis von zurückgeführter zu entzogener Wärme:

$$\beta = Q_{\text{rück}} / Q_{\text{entz}} \qquad (1)$$

Q_{entz} jährlicher Wärmeentzug · $Q_{\text{rück}}$ jährliche Rückspeisung aus Kühlung, Solarthermie, Abwärme oder Oberflächenwasser

Bei β nahe 1 arbeitet das Feld als saisonaler Speicher. Bei kleinem β driftet die Temperatur dichter Felder über Jahrzehnte ab. Nachrechnungen gemessener Schweizer Felder bestätigen das Modell; es überschätzt die Auskühlung eher [3].

3 Berechnung

Jede Sonde wirkt als Linienquelle; zeitlich und räumlich superponiert gilt [5]. Die unendliche Linienquelle überschätzt die Auskühlung (sichere Seite); g-Funktionen bilden Endeffekte ab [2].

$$\Delta T(r,t) = q' / (4\pi\lambda) \cdot E_1(r^2 / (4at)) \quad T_f = T_0 - \Sigma\Delta T - q' \cdot R_b \qquad (2)$$

q' Entzug je Meter · λ Wärmeleitfähigkeit · $a = \lambda/(\rho c)$ · R_b Bohrlochwiderstand · T_f mittlere Fluidtemperatur

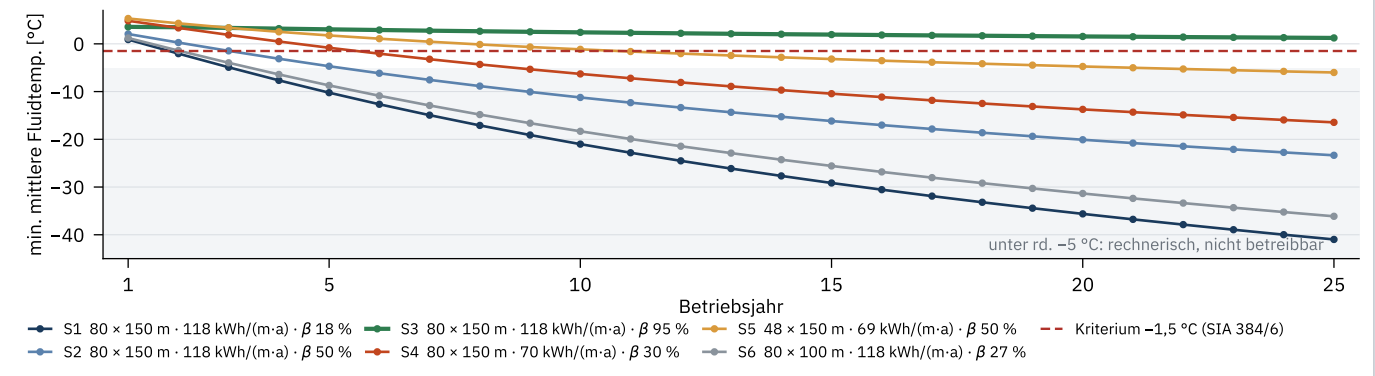


Bild 1. Minimale mittlere Fluidtemperatur über 25 Jahre, sechs Varianten (Sonden × Länge) im 7-m-Raster (Studie Hotelresort Ostseeküste, anonymisiert; unendliche Linienquelle, λ = 2,3 W/(m·K), T_0 = 10 °C, R_b = 0,09 m·K/W). Nur mit 95 % Rückspeisung bleibt das Feld über dem Kriterium; die übrigen Varianten verfehlen es lange vor den 50 Jahren, auf die sich SIA 384/6 bezieht.

4 Beispiel Hotelresort

Ein Hotel mit ganzjähriger Grundlast soll dem Feld rd. 1 410 MWh/a entziehen; die Kühlung liefert nur rd. 18 % zurück. Kriterium: mittlere Fluidtemperatur ≥ −1,5 °C nach SIA 384/6 [6]; VDI 4640 Blatt 2 lässt die Grenze offen. Geringere Last (S4), ein kleineres Feld mit geringerer Last (S5) und kürzere Sonden (S6) verfehlen es bei β von 27 bis 50 %. Erst mit 95 % Rückspeisung aus Seewasser bleibt sie nach 25 Jahren bei rd. +1 °C.

Tabelle 1. Minimale mittlere Fluidtemperatur im 25. Jahr (rechnerisch)

Fall	Sonden × Länge	Entzug	β	$T_{f,min}$
S1	80 × 150 m	118 kWh/(m·a)	18 %	−41 °C
S2	80 × 150 m	118 kWh/(m·a)	50 %	−23 °C
S3	80 × 150 m	118 kWh/(m·a)	95 %	rd. +1 °C
S4	80 × 150 m	70 kWh/(m·a)	30 %	−16 °C
S5	48 × 150 m	69 kWh/(m·a)	50 %	−6 °C
S6	80 × 100 m	118 kWh/(m·a)	27 %	−36 °C

5 Empfehlungen

- Bilanzgrad aus dem Lastgang bestimmen, bevor Sondenzahl und -länge feststehen; Rückspeisung eigens planen.
- Über die Nutzungsdauer simulieren, meist 50 Jahre; Grenztemperatur früh mit der Wasserbehörde abstimmen.
- λ und R_b vor der Dimensionierung durch einen Thermal Response Test [7] belegen.

NORMEN UND LITERATUR

[1] **VDI 4640 Blatt 2:2019-06** Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpen
[2] **Eskilson, P. (1987)** Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. Diss., Lund
[3] **Pahud, D. (2015)** Simulationen gemessener Erdwärmesondenfelder. Schlussbericht, BFE, Bern
[4] **Schäfer, I. (2019)** Auswirkung der neuen VDI 4640 Blatt 2 auf die Planung. 5. Willicher Praxistage, 06.11.2019
[5] **Carslaw, H. S.; Jaeger, J. C. (1959)** Conduction of Heat in Solids. 2nd ed., Oxford
[6] **SIA 384/6:2021** Erdwärmesonden
[7] **VDI 4640 Blatt 5:2020-07** Thermal Response Test