



Auslegung von Erdwärmesondenanlagen - Berechnungsprogramme mit Sachverstand anwenden

Dipl.-Ing. Björn Oldorf
H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH, Rostock
0381- 3779454, hsw.ingbuero@t-online.de

Zusammenfassung

Erdwärmesondenanlagen sollten unter Berücksichtigung der lokalen Untergrundverhältnisse (u.a. Gestein, Substrate, Grundwasserverhältnisse, Wärmeleitfähigkeit, Untergrundtemperatur) und des Wärme- bzw. Kältebedarfes des zu versorgenden Objektes berechnet bzw. bemessen werden. Die Bemessung von Erdwärmesondenanlagen orientiert sich dabei hauptsächlich an der Einhaltung bestimmter Temperaturlimits des Wärmeträgerfluids der geothermischen Quellenanlage. Spezialisierte Berechnungsprogramme für Erdwärmesonden ermöglichen bei sachgemäßer Anwendung eine sichere Prognose des Temperaturverlaufes innerhalb der Wärmeübertragerrohre und in dem umgebenden Gebirge und damit eine normgerechte Anlagen-Auslegung. Die am Markt etablierten Berechnungsprogramme unterscheiden sich teilweise deutlich im Funktionsumfang und setzen unterschiedliche Kenntnisse voraus, die bei der Investitionsentscheidung für die jeweilige Programmsoftware zu berücksichtigen sind.

1 Bemessungsverfahren

In der gültigen VDI-Richtlinie 4640 (Blatt 2) "Thermische Nutzung des Untergrundes" werden die Anforderungen an die Bemessung von Erdwärmeeinrichtungen für kleinere Anlagen (Heizleistung bis 30 kW) sowie mittlere und größere Anlagen (Heizleistung über 30 kW) unterschieden.

Für die kleineren Anlagen erfolgt die Auslegung häufig nach den spezifischen Entzugsleistungen (W/m) anhand von Tabellenwerten und geologischen Vorprofilen für vereinfachte Lastfälle (z.B. 1800 Vollbenutzungsstunden pro Jahr). Bei mittleren und größeren Erdwärmeeinrichtungen ist die korrekte Auslegung gemäß VDI-Richtlinie durch Berechnungen (u.a. Simulationsprogramme) nachzuweisen.

Bei den Berechnungsmethoden werden analytische und numerische Lösungen unterschieden. Die oft einfacher anzuwendenden analytischen Berechnungsverfahren werden auch bei kleineren Anlagen zur Anwendung empfohlen, um eine Über- bzw. Unterbemessung der geothermischen Quellenanlage zu vermeiden.

Insbesondere bei kleineren Erdwärmesondenanlagen, die für den Grundlastbetrieb geplant werden (d.h. mit erhöhten Jahres-Vollbenutzungsstunden, z.B. 3000 h), sind entsprechende analytische Berechnungen erforderlich.

Ein weiterer Vorteil der Anwendung von Berechnungsprogrammen für die Bemessung von Erdwärmesondenanlagen ist die Durchführung von Variantenvergleichen für unterschiedliche Nutzungskonzepte in der Vorplanung und die darauf basierende Wirtschaftlichkeitsprognose.

1.1 Analytische Berechnungsverfahren

Einfache analytische Berechnungsverfahren (exakte Lösung einer Gleichung) haben den Vorteil, dass sie relativ einfach und schnell lösbar sind. Nur in den seltensten Fällen, bei homogenen geologischen Verhältnissen und eindeutigen hydraulischen bzw. thermischen Randbedingungen, können diese Gleichungen geschlossen gelöst werden (z.B. Formel der Kelvinschen Linienquellentheorie). Das heißt, in der Berechnung von Erdwärmeeinrichtungen sind analytische Verfahren nach dem Linienquellenverfahren nur für einfache Berechnungsfälle (z.B. Einzelsonde) geeignet.

Eine Weiterentwicklung zur Berechnung mehrerer Erdwärmesonden bzw. Erdwärmesondenfelder stellen Berechnungsprogramme dar, deren Algorithmen durch Modellierung und Parameterstudien mit numerischen Simulationsmodellen abgeleitet wurden (vgl. VDI 4640 Blatt 2). Die entsprechenden Berechnungsprogramme (z.B. EED, EWS) ermöglichen mittels integrierter sogen. „g-Funktionen“ die thermische Simulation unterschiedlicher Bohrlochgeometrien und Anordnungen der Erdwärmesonden.

Mit dem Programm EED („Earth Energy Designer“) berechnet man beispielsweise die mittlere Fluidtemperatur im Erdwärmesonden-Kreislauf für einen frei wählbaren Betriebszeitraum. Hier können Sondenfelder mit bis über tausend Erdwärmesonden unter Berücksichtigung eines Einschichtfalls berechnet werden.

Die Programmanwendung der beispielhaft benannten analytischen Berechnungsprogramme ist im Vergleich zu numerischen Simulationsprogrammen relativ einfach und liefert für Untergründe mit geringer Grundwasserströmung bzw. Transmissivität sowie unter Berücksichtigung der mittels Geothermal Response Test in-situ



ermittelten integrierten Wärmeleitfähigkeit und Temperatur des Gebirges hinreichend genaue Ergebnisse.

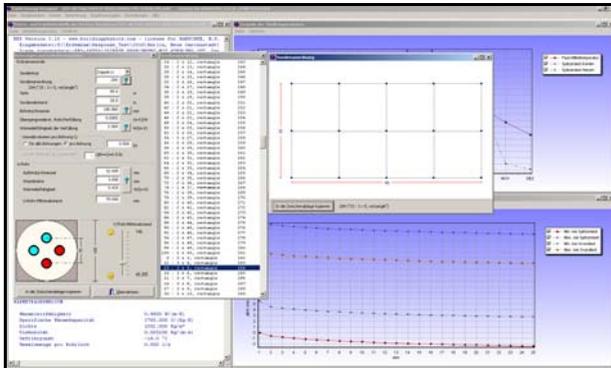


Bild 1: Berechnungsprogramm EED, Eingabemaske „Bohrung und Erdwärmesonden“

1.2 Numerische Berechnungsverfahren

Wie bereits angedeutet, hängt die Entscheidung zum eingesetzten Berechnungsverfahren und damit auch der Softwarelösung von der Komplexität des Erdwärmeverhaltens und von der Systemrelevanz der Grundwasserbewegung im Bereich des geplanten Erdwärmesondenfeldes ab. Für komplizierte Bemessungsfälle, wie inhomogene geologische Schichtung (und Wärmeleitfähigkeiten), starker Grundwasserfluss und instationäre Randbedingungen, kommen numerische Berechnungsverfahren zum Einsatz.

Die thermohydrodynamische Simulation mit numerischen Modellen ist für mittlere bis größere Erdwärmesondenfelder, Energiepfehanlagen und Grundwasserwärmepumpen Stand der Technik (u.a. Empfehlung in der VDI-Richtlinie 4640). Aufgrund der realisierbaren hohen zeitlichen und räumlichen Diskretisierung weisen numerische Modelle gegenüber analytischen Lösungsverfahren bei der Bemessung der geothermischen Quellenanlagen erhebliche Vorteile auf. Nur wenige spezialisierte numerische Modelle (z.B. FEFLOW, MODFLOW) berücksichtigen sowohl Wärmeleitung der Matrix als auch Wärmetransport mit dem Grundwasser

Die Anwendung numerischer Modelle ermöglicht die Nachbildung und Prognose von Grundwasserfließbewegungen sowie den gekoppelten Transport von Wärme und erlaubt komplexe Transportvorgänge und Fließsysteme zu simulieren.

Die Güte der Grundwassermodelle wird im Wesentlichen von den verfügbaren geologischen / hydrogeologischen Eingangsdaten (u.a. Bohrdatendichte und Qualität, Messungen der Grundwasserpotentiale, Grundwasserfließrichtung und Grundwasserfließgeschwindigkeit, Identifikation der Grundwasser-Einzugsgebiete, Ermittlung der hydrogeologischen und thermophysikalischen Kennwerte) bestimmt.

In der Praxis haben sich numerische Berechnungsverfahren für Erdwärmesondenanlagen u.a. für die Lösung nachfolgender typischer Fragestellungen bewährt:

- Ermittlung des Speichernutzungsgrades einer Erdwärmesondenanlage mit saisonaler Wärmespeicherung unter Grundwassereinfluss,
- Optimierung von komplexen Erdwärmesondenanlagen und Energiepfehanlagen unter Berücksichtigung der Grundwasserströmung,
- Prognose von Aufsuchungs- und Bewilligungsfeldern für Erdwärme im bergrechtlichen Verfahren,
- Prognose von grundstücksrelevanten Beeinflussungen des Temperaturregimes im Untergrund ("Nachbarschaftsproblematik") durch den Betrieb von Erdwärmesondenanlagen.

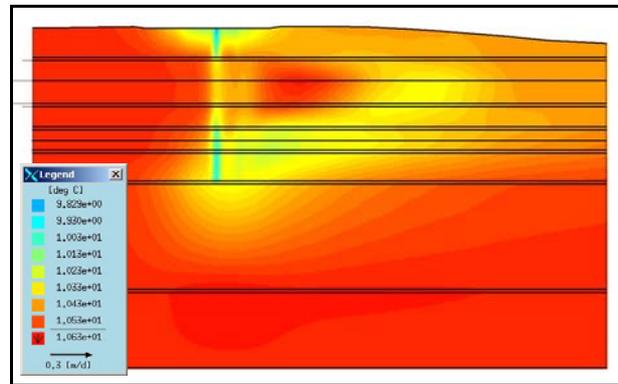


Bild 2: FEM-Simulationsprogramm FEFLOW, Beispiel einer Temperaturprognose für ein Erdwärmesondenfeld

Literatur

VDI 4640 BLATT 1 (2001): Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

VDI 4640 BLATT 2 (2001): Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen

MICHAEL THOLEN, SIMONE WALKER-HERTKORN (2008): Arbeitshilfen Geothermie, WVGW Verlag Bonn, ISBN: 978-3-89554-167-4

HELLSTRÖM, G., SANNER B. : EED Earth Energy Designer User Manual, Version 3.16

HANSCHKE, TH. (2002): Einsatz von FEFLOW 5.0 für die Berechnung des Nutzungspotentials der oberflächennahen Geothermie in MV. 5. Fachtagung Grafikgestützte Grundwassermodellierung, WASY GmbH November 2002, WISTA-Tagungszentrum Berlin