

Geothermie-Atlas

Anleitung und Methodik zur Potenzialberechnung von Erdwärmesonden

geothermieatlas.geosphere.at

Kurzfassung.....	1
Anleitung.....	2
Methodik und Berechnungsdetails.....	8
Verwendete 3rd-Party Software.....	14

Kurzfassung

Die Anwendung der Potenzialberechnung im Geothermie-Atlas der GeoSphere Austria ist für die Erstabschätzung des Heiz- und Kühlpotenzials für Erdwärmesonden eines bestimmten Grundstücks ausgelegt. Nach Auswahl eines Grundstücks oder Zeichnung eines Sondenfeldes auf der Karte wird automatisch eine Platzierung der Tiefenbohrungen der Erdwärmesonden vorgeschlagen. Dieser Vorschlag kann interaktiv verändert werden, indem Bohrpunkte gelöscht, verschoben oder neu platziert werden. Danach kann die Betriebsweise von Heizen und Kühlen in Form von Jahresbetriebsstunden und der Wahl der Vorlauftemperatur festgelegt werden. Auch hier ist nach Auswahl des Grundstücks ein Erstvorschlag in Form von Norm-Jahresbetriebsstunden in Anlehnung an die Schweizer Norm 384/6 ⁽¹⁾ vorausgefüllt. Nun kann die Berechnung gestartet werden. Optional kann auch der Leistungsbedarf des Gebäudes für Heizen und Kühlen angegeben werden. Dadurch ändert sich die Ausgabe des Ergebnisses und ein Deckungsbeitrag von Angebot zu Bedarf wird berechnet.

Eine Optimierung der Anzahl und Tiefe der Bohrungen sowie der Betriebsweise ist interaktiv möglich, indem nach Anpassung der Eingangsparameter die Berechnung erneut durchgeführt wird. Unter gewissen Bedingungen wird automatisch eine ausgeglichene Betriebsweise zum Vergleich mit der eingegebenen Betriebsweise berechnet und im Detailbericht ausgegeben. Sind am Standort Geodaten verfügbar, werden die Untergrunddaten aus den Karten verwendet. Sind keine Geodaten verfügbar, erscheint ein Fenster zur manuellen Eingabe der Untergrunddaten. Ein Detailbericht als PDF kann angefordert werden und beschreibt die Ergebnisse der Potenzialabschätzung im Detail mit Prognose der Fluidtemperatur auf 20 Jahre.

Bitte beachten Sie, dass die Ergebnisse zur Erstabschätzung der Größenordnung des Heiz- und Kühlpotenzials zur thermischen Nutzung von Erdwärmesonden mittels Wärmepumpe dienen und keine Dimensionierung oder Detailplanung ersetzen. Die Bohrpunkte können beliebig gesetzt werden, wobei weder eine Garantie auf Bohrbarkeit noch eine Überprüfung auf unterirdische Einbauten oder

¹ SIA 384-6:2010: Erdwärmesonden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich

Vegetation erfolgt. Die Größe des Potenzials ist stark abhängig von der Vorgabe der Sondenfeldgröße, der Sondentiefe und auch der Jahresbetriebsstunden. Die Applikation soll auf diese Abhängigkeiten sensibilisieren.

Anleitung

Abbildung 1 gibt einen Vorschlag zur Benutzung der Potenzialberechnung für Erdwärmesonden. Nach Navigation zur Eingabeseite (1) muss zuerst ein Grundstück auf der Karte ausgewählt werden (2), danach ein Sondenfeld (3) und eine Betriebsweise (5). Sind am Standort Geodaten hinterlegt, so wird das Eingabefenster für die Untergrunddaten (4) nicht angezeigt. Dann werden die hinterlegten Geodaten zur Berechnung verwendet. Danach kann die Berechnung gestartet werden (6) und die Zusammenfassung der Ergebnisse werden in (7) angezeigt. Bitte beachten Sie auch das Fenster (7), wo Hinweise und Ergebnisse angezeigt werden.

The screenshot shows the application interface with several key elements highlighted by red boxes and numbered steps:

- 1. Navigation zur Potenzialberechnung:** The 'Erdwärmesonden' menu item in the top navigation bar.
- 2. Navigation zum Grundstück:** The search bar at the top left with the placeholder text 'Adresse oder Ort suchen'.
- 3. Auswahl des Sondenfeldes:** The 'Geometrie Sondenfeld' section in the left sidebar, showing controls for 'Sondenabstand in Meter' (set to 10) and 'Sondentiefe in Meter' (set to 100).
- 4. Eingabe Untergrunddaten (wenn keine Geodaten verfügbar):** The 'Untergrundeigenschaften' section in the left sidebar, showing 'Wärmeleitfähigkeit in W/mK' (set to 2) and 'Untergrundtemperatur in °C' (set to 10, with a note 'Wert zwischen 5 und 18 °C').
- 5. Auswahl der Betriebsweise:** The 'Betriebsweise Gebäude' section in the left sidebar, showing 'Heizungsart' (set to 'Fußbodenheizung') and various operating hours and power settings.
- 6. Berechnung starten:** The 'Berechnung starten' button at the bottom of the left sidebar.
- 7. Fenster für Hinweise und Ergebnisanzeige:** A 'Potenzialberechnung' dialog box on the right side of the map, showing a legend for borehole symbols and a zoom instruction: 'Bitte zoomen Sie hinein, wenn Sie ein anderes Grundstück auswählen möchten.'

Abbildung 1: Übersicht der Schritte für die Potenzialberechnung für Erdwärmesonden für ein Grundstück

Nachfolgend die Benutzeranleitung im Detail:

1. Navigation zur Potenzialberechnung

- Öffnen Sie die Seite geothermieatlas.geosphere.at in Ihrem Browser.
- Klicken Sie auf der Hauptseite direkt „Zur Potenzialberechnung“ oder im Menü auf Erdwärmesonden und „Potenzialberechnung“, siehe Abbildung 2.

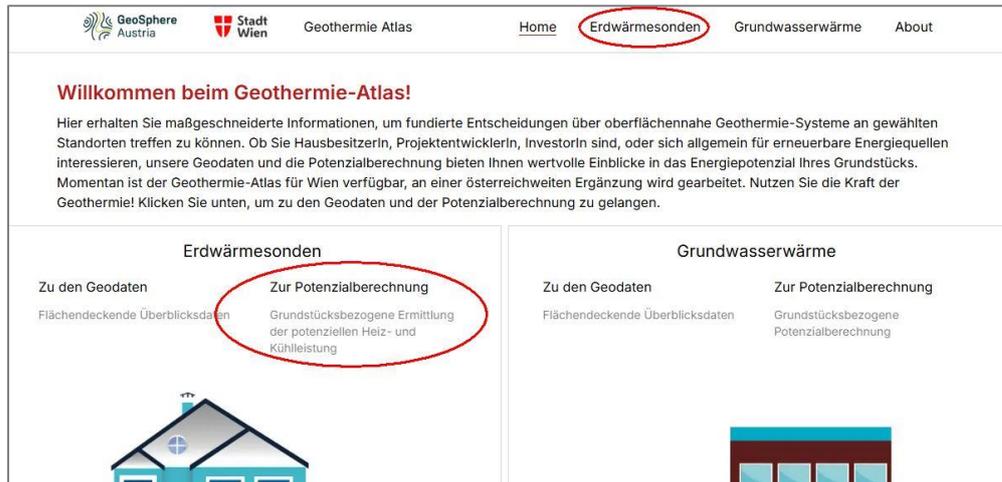


Abbildung 2: Bildschirmausschnitt auf geothermieatlas.geosphere.at

2. Navigation zum Grundstück und Auswahl eines Grundstücks

Navigieren Sie zu einem Grundstück durch Eingabe der Adresse im Feld „Adresse und Ort suchen“ (2) oder durch direkte Navigation mit der Maus:

linke Maustaste = Karte verschieben
mittlere Maustaste/Scrollrad = Zoomen
rechte Maustaste = drehen

3. Sondenfeld auswählen

Mit dem Tools unter „Geometrie Sondenfeld“ kann das Sondenfeld räumlich abgegrenzt werden, wobei ein automatischer Vorschlag der Bohrpunkte innerhalb der Abgrenzung erfolgt. Die Bohrpunkte können jedoch manuell angepasst, gelöscht oder neu gesetzt werden. Die Tools sind in Abbildung 3 und im Folgenden beschrieben:

Pfeil-Tool „Auswahl Grundstück / Bohrpunkt setzen“: Mit dem Pfeil-Tool erfolgt die Abgrenzung des Sondenfeldes über den hinterlegten Grundstückskataster: Bei Klick auf einen Punkt in der Karte wird das umliegende Grundstück nach dem Grundstückskataster automatisch abgegrenzt.

Polygontool „Sondenfeld zeichnen“: Dadurch ist es möglich grundstücksübergreifend oder nur einen Teil eines Grundstückes des Katasters für den automatischen Vorschlag der Bohrpunkte zu verwenden. Nach Auswahl des Tools „Sondenfeld zeichnen“ können die Eckpunkte eines beliebigen Vielecks (Polygon) mit der linken Maustaste gezeichnet und mit Doppelklick abgeschlossen werden.

Nach erfolgreicher Abgrenzung des Sondenfeldes werden automatisch Bohrpunkte in einem Raster mit dem eingestellten Sondenabstand gezeichnet. Das **Pfeil-Tool** kann nun zur Markierung und Bearbeitung von Bohrpunkten verwendet werden.

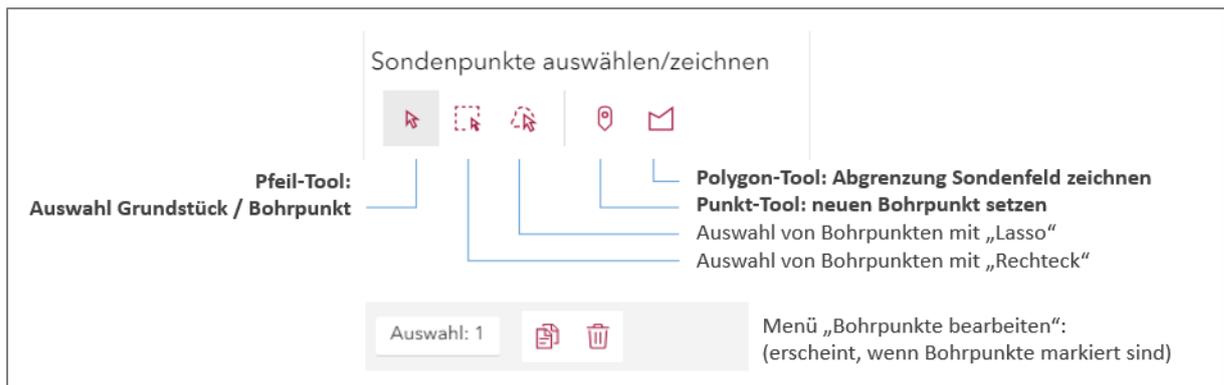


Abbildung 3: Tools zur Abgrenzung eines Sondenfelds bzw. zur Bearbeitung der Bohrpunkte

Anpassung der Bohrpunkte: Im nächsten Schritt können die automatisch generierten Bohrpunkte angepasst werden. Der Sondenabstand (Wertebereich 5 - 15 m) kann schrittweise verändert bzw. die Sondentiefe (Wertebereich 80 - 250 m) direkt angegeben werden.

Abbildung 4 zeigt ein Beispiel einer Sondenfeld-Abgrenzung mit dem Polygon-Tool und den automatischen Vorschlag der Bohrpunkte mit einem Sondenabstand von 7 m. Dieser Vorschlag kann weiter angepasst werden, indem Bohrpunkte markiert, gelöscht oder verschoben werden. Mit dem **Punkt-Tool** können neue Bohrpunkte manuell gesetzt werden.

Hinweise:

- Der automatische Vorschlag der Bohrpunkte innerhalb der gewählten Abgrenzung berücksichtigt die Orientierung der Fläche und ignoriert bebaute Flächen in rosa Farbe. Andere Faktoren, wie unterirdische Einbauten, Vegetation oder Zugänglichkeit für das Bohrgerät können nicht berücksichtigt werden.
- Ein Grundstück kann erst ab einer gewissen Zoomstufe ausgewählt werden. Beachten Sie dazu den Text im „Hinweis- und Ergebnisfenster“ (7). Bei Ausgabe des Textes „Bitte zoomen Sie hinein, wenn Sie ein Grundstück auswählen möchten.“ muss näher herangezoomt werden.
- Limit bei 300 Bohrpunkten: Ist das ausgewählte Grundstück oder die eigene Polygonabgrenzung so groß, dass mehr als 300 Bohrpunkte nötig wären, so wird kein Bohrpunkt gezeichnet. Es kommt auch eine entsprechende Meldung. Sie können jedoch mit dem Pfeil-Tool selbst Bohrpunkte setzen.
- Es kann auch ein Bohrpunkt außerhalb des Grundstücks, der eigens festgelegten Abgrenzung oder innerhalb des Randabstands gesetzt werden. Es erscheint folgender Text im „Hinweis und Ergebnisfeld“ (7): „Warnung: Mindestens ein Punkt liegt außerhalb der zugelassenen Grenzen!“. Trotz dieser Warnung ist eine Berechnung möglich und der Bohrpunkt wird in der Berechnung berücksichtigt.
- Falls ein Bohrpunkt näher als 5 m zu einem anderen Bohrpunkt liegt wird die Warnung „Mindestens ein Punkt liegt näher als fünf Meter zu einem anderen Punkt!“ ausgegeben. Die Berechnung ist dennoch möglich.
- Falls zwei Bohrpunkte direkt übereinanderliegen, wird dieser nur einmal verwendet.
- Bei Auswahl des Grundstücks werden die Angaben für die Betriebsweise bzw. den Untergrunddaten für den Standort vorausgefüllt, siehe nachfolgendes Kapitel.

Abbildung 4: Abgrenzung eines Sondenfelds mit dem Polygon-Tool über mehrere Grundstücke und automatischer Vorschlag der Bohrpunkte bei einem Standort in Niederösterreich.

4. Untergrunddaten festlegen

Die Untergrunddaten (mittlere Wärmeleitfähigkeit und Temperatur des Untergrundes) müssen eingegeben werden, wenn am Standort keine entsprechende Geodaten hinterlegt sind. Es werden auch hier voreingestellte Werte vorgeschlagen. Wenn Geodaten hinterlegt sind, gibt es keine Möglichkeit zur Änderung der Untergrunddaten. Die Werte werden aus den Karten für Geodaten verwendet und sind im Detailbericht angegeben.

5. Betriebsweise festlegen

Nach Auswahl eines Sondenfelds muss die Betriebsweise für Heizen und Kühlen festgelegt werden. Dies erfolgt in Form von **Jahresbetriebsstunden** und **entspricht dem Verhältnis aus Jahresenergiemenge und Volllast-Leistung**. Der Wert ist stark von der Dimensionierung der Heiz- und Kühlanlage und vom Gebäudetyp und –größe abhängig. Die Applikation hat keine Gebäudedaten hinterlegt, weshalb die vorausgefüllten Werte zur Betriebsweise einer typischen Gebäude- und Anlagenauslegung für ein Wohnhaus am Standort entsprechen. Falls Sie den Jahres-Energieverbrauch und die Dimensionierung der Heiz- und Kühlanlage Ihres Gebäudes kennen wird eine Anpassung der vorgeschlagenen Werte empfohlen.

Die vorgeschlagenen Betriebsweise in Form von Norm-Jahresbetriebsstunden richtet sich nach der mittleren Bodentemperatur an der Oberfläche, siehe auch Kapitel Methodik und Berechnungsdetails.

Die Angabe der Jahresbetriebsstunden Heizen und Kühlen beeinflusst das Ergebnis beträchtlich. **Unter Jahresbetriebsstunden sind Volllaststunden zu verstehen mit der die Erdsondenanlage in Vollbetrieb**

läuft. Die Leistung der Erdsonden wird als Ergebnis mit den hier angegebenen Betriebsstunden berechnet und im Bericht als „Potenzial bei gewählter Betriebsweise“ bezeichnet.

Die Angabe der Heizungsart wird für die Berechnung des Strombedarfs der Wärmepumpe benötigt. **Es stehen drei Heizungsarten zur Auswahl:**

- Fußbodenheizung: Für die Berechnung des Stromanteils der Wärmepumpe wird mit einer Heizungsvorlauftemperatur von 35 °C gerechnet. Dadurch ergibt sich im kältesten Zustand der Erdwärmesonden (Mitteltemperatur Wärmeträgerfluid -1,5 °C) eine Leistungszahl von 4,74.
- Radiator: Für die Berechnung des Stromanteils der Wärmepumpe wird mit einer Heizungsvorlauftemperatur von 55 °C gerechnet. Dadurch ergibt sich im kältesten Zustand der Erdwärmesonden (Mitteltemperatur Wärmeträgerfluid -1,5 °C) eine Leistungszahl von 2,8.
- Benutzerdefiniert: Ein neues Eingabefenster für die Vorlauftemperatur der Heizung erscheint und kann im Bereich von 30-65° eingegeben werden. Die Leistungszahl wird entsprechend der Vorgabe umgesetzt.

Angabe der Heiz- und Kühlleistung (optional)

Optional kann die gewünschte Gebäudeleistung für Heizen und Kühlen angegeben werden. Dadurch wird in der Ergebnisdarstellung ein Deckungsbeitrag in Prozent berechnet, indem das verfügbare Potenzial mit dem gewünschten Leistungsbedarf ins Verhältnis gesetzt wird. Dies hat zur Folge, dass in der Regel Heiz- und Kühlpotenzial (bei Deckungen über 100 %) bzw. Heiz- oder Kühlpotenzial (bei Deckungen unter 100 %) nicht ausgeschöpft wird. Nicht ausgeschöpft heißt, dass das Temperaturlimits von -1.5 °C im Heizbetrieb oder 28 °C im Kühlbetrieb durch die Vorgabe nicht erreicht wird.

Eine Leistungsangabe kann auch dazu verwendet werden, das Potenzial auf einer Seite zu deckeln, sodass also entweder Kühl- oder Heizpotenzial absichtlich nicht ausgeschöpft wird, weil es nicht benötigt wird. Die jeweils andere Seite wird dann mit 100 % des angegebenen Bedarfs gedeckelt. Details siehe Kapitel Methodik und Berechnungsdetails.

Hinweise:

- Ein reiner Heizbetrieb (Betriebsweise ohne Kühlung) wird berücksichtigt, indem bei Jahresbetriebsstunden für Kühlen Null „0“ eingegeben wird. Ein reiner Kühlbetrieb (Betriebsweise ohne Heizung) erfolgt entsprechend durch Nulleingabe der Jahresbetriebsstunden Heizen.
- Eine hohe Kühlnutzung wirkt sich positiv auf das Potenzial für den Heizbetrieb aus, da das Erdreich durch die Einspeicherung der Kühlabwärme wieder regeneriert wird. Gleiches gilt umgekehrt für eine hohe Heiznutzung.
- Sind beide Angabe der Jahresbetriebsstunden Null, so wird wieder mit Normbetriebsstunden gerechnet.
- Die Auswahl einer höheren Heizungstemperatur (z.B. Radiator 55 °C) liefert ein besseres Ergebnis des Heizpotenzials im Vergleich zu einer niedrigeren Heizungstemperatur (z.B. Fußbodenheizung 35 °C). Das Potenzial aus den Erdsonden ist zwar bei allen Temperaturvorgaben gleich groß, jedoch benötigt eine höhere Temperatur verhältnismäßig mehr Strom, also eine niedrigere Leistungszahl (COP). Dadurch steht dem Gebäude bei Wahl einer höheren Heizungstemperatur insgesamt mehr Potenzial zur Verfügung.
- Wird nur einer der optionalen Leistungs-Werte angegeben, also nur Heiz- oder Kühlleistung und der jeweils andere Wert Leer oder Null gesetzt, so werden programmintern auch die Jahresbetriebsstunden der zugehörigen Betriebsart Null gesetzt.

6. Berechnung starten

Wenn die Bohrpunkte für die Erdwärmesonden definiert und eine gültige Betriebsweise angegeben, so wird die Berechnung mit einem Klick auf das entsprechende Feld gestartet. In wenigen Sekunden sollte im „Hinweis und Ergebnisfenster“ (7) das Ergebnis in Form eines Energieflussdiagrammes und einer zusammenfassenden Beschreibung erscheinen.

Hinweis:

- Sie können das Sondenfeld (3) oder die Betriebsweise (4+5) verändern, iterativ anpassen und die Berechnung erneut starten. Das Ergebnis wird folglich aktualisiert.

7. Ergebnisse

Hinweise und die Zusammenfassung der Ergebnisse werden im „Hinweis- und Ergebnisfenster“ (7) angezeigt.

- Durch Klick auf das Energieflussdiagramm wird die Grafik in einem neuen Tab in voller Größe angezeigt.
- Durch Klick auf „Detailbericht als PDF“ wird ein automatisch generierter Bericht zum Download angeboten. In dem Bericht sind alle Angaben, Berechnungsergebnisse und Betriebsweisen beschrieben.

Hinweis:

- Bei großen Sondenfeldern (> 5 Bohrpunkte) und weiteren Kriterien (siehe Kapitel „Automatisch ausgeglichene Betriebsweise“) wird zusätzlich zur angegebenen Betriebsweise eine automatisch bilanzierte Betriebsweise berechnet und ebenso im PDF Bericht ausgegeben. Die Ergebnisse der beiden Betriebsformen können so miteinander verglichen werden und die Abhängigkeit der Betriebsweise deutlich machen. Beträgt der Sondenabstand mehr als 6 m wird bei der automatisch bilanzierten Betriebsweise ein Hinweis ausgegeben, dass der Sondenabstand auf bis zu 5 m verkleinert werden kann. Dadurch lässt sich das Erdwärmepotenzial pro Fläche deutlich steigern.

Methodik und Berechnungsdetails

Die Methodik zur Berechnung des erzielbaren Leistungs- und Energiepotenzials für Erdwärmesonden beruht auf der analytischen Lösung der endlichen Linienquelle (Finite Line Source Theory) im homogenen Halbraum und Nutzung der g-Funktion ⁽²⁾⁽³⁾. Die g-Funktionen und die Wärmeübergänge der Erdwärmesonde werden mit dem Python-Modul „pygfunction“ durchgeführt ⁽⁴⁾. Das Berechnungsprogramm zur direkten Berechnung des erzielbaren Heiz- und Kühlpotenzials eines Sondenfelds wurde an der GeoSphere Austria entwickelt.

Zur Berechnung der Potenziale der Erdwärmesonden sind folgende Angaben erforderlich:

- (1) Positionen und Tiefe der Erdwärmesonden
- (2) Betriebsweise in Form von Volllaststunden Heizen und Kühlen
- (3) Vorlauftemperatur des Heizsystems zur Abschätzung des COP/EER der Wärmepumpe
- (4) (optional) gewünschte Heiz- und Kühlleistungen der Gebäude
- (5) Mittlere Erdreichtemperatur und Wärmeleitfähigkeit des homogenen Untergrundes
- (6) Fixe Parameter für die Simulation

Zur Berechnung der Potenziale der Erdwärmesonden ist eine Eingabe eines konkreten Sondenfelds (1), dessen Betriebsweise für Heizen und Kühlen (2) und die geogenen Untergrundparameter (5) erforderlich. Zur Hebung des gewonnenen Temperaturniveaus aus den Erdwärmesonden mittels Wärmepumpe auf das notwendige Temperaturniveau des Gebäudes ist die Angabe der Heizvorlauftemperatur (3) erforderlich. Alle weiteren Parameter (6) sind vorerst fix vorgegeben.

Als Ergebnis wird das erzielbare Heiz- und Kühlpotenzial des Sondenfelds mit vorgegebener Betriebsweise berechnet. Das erzielbare Heiz- und Kühlpotenzial für das gewählte Sondenfeld ist definiert als die Leistungen, die jährlich auf 20 Jahre mit der gewählten Betriebsweise vorgegeben werden können, sodass die Mitteltemperatur des Sondenfluids oberhalb -1,5 °C im Heizbetrieb und unterhalb 28,0 °C im Kühlbetrieb bleibt. Da die Größe des Heizpotenzials (Entladung des SondenSpeichers) von der Größe der Kühlnutzung (Beladung bzw. Regeneration des SondenSpeichers, und umgekehrt, abhängig ist, kann optional eine Gebäudeleistung (4) vorgegeben werden. Somit kann das Heiz- und Kühlpotenzial mit dem Bedarf verglichen und ein Deckungsbeitrag berechnet werden. Bei dieser Vorgabe wird, wenn nötig, die Heiz- oder Kühlseite mit 100 % der Vorgabe gedeckelt, siehe Kapitel „Ergebnis bei optionaler Leistungsangabe.“

Für große Sondenfelder wird in der Regel auch das Ergebnis mit automatisch angepasster Betriebsweise ausgegeben, siehe Kapitel „Automatisch ausgeglichene Betriebsweise“

Die Web-Applikation befüllt die Vorgabe der Betriebsweise automatisch mit den Norm-Jahresbetriebsstunden, dessen Werte vom Standort bzw. der dort hinterlegten mittleren Jahrestemperatur der Bodenoberfläche abhängt. Die Berechnung der Normbetriebsstunden ist für ein typisches Wohnhaus ausgelegt und nur als Erst-Vorschlag gedacht. Eine Anpassung auf den konkreten Gebäudebedarf wird empfohlen, siehe Kapitel „Vorgabe der Betriebsweise“.

² Claesson, J. and P. Eskilson 1987. Conductive Heat Extraction by a Deep Borehole. Analytical Studies. Lund, Sweden, University of Lund.

³ Eskilson, P. 1987. Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. Ph.D. thesis. University of Lund.

⁴ Cimmino, M., & Cook, J.C. (2022). pygfunction 2.2: New features and improvements in accuracy and computational efficiency. In Research Conference Proceedings, IGSHPA Annual Conference 2022 (pp. 45-52). International Ground Source Heat Pump Association. DOI: <https://doi.org/10.22488/okstate.22.000015>.

Ergebnis bei optionaler Leistungsangabe

Wird optional eine Gebäudeleistung angegeben, so wird das erzielbare Potenzial mit dem gewünschten Gebäudebedarf verglichen und je ein Deckungsbeitrag für Heizen und Kühlen berechnet und ausgegeben. Der Deckungsbeitrag gibt das Verhältnis von Energiepotenzial zu Energienachfrage an. Ohne Angabe einer Gebäudeleistung wird immer die maximal erzielbare Heiz- und Kühlleistung mit den angegebenen Jahresbetriebsstunden berechnet, sodass beide Temperaturlimits (-1,5 °C im Heizbetrieb und 28,0 °C im Kühlbetrieb) knapp erreicht werden. Mit Angabe einer Heiz- und/oder Kühlleistung wird unter Umständen die Heiz- oder Kühlseite mit der Leistungsvorgabe gedeckelt. Bei Angabe einer Leistung unterscheidet die Berechnung folgende Fälle:

- **Fall 1 - Beide Deckungsbeiträge, auf Heiz- und Kühlseite, werden nicht erreicht (< 100 %):**
Dieser Fall tritt ein, wenn das Sondenfeld zu klein gewählt wurde oder der Bedarf zu groß für das Sondenfeld angegeben ist. Es wird das maximal erzielbare Potenzial auf beiden Seiten berechnet, so als ob die optionale Leistungsvorgabe nicht angegeben wäre. Das Leistungsverhältnis der Betriebsvorgabe zwischen Heizen und Kühlen wird so angepasst, dass das Potenzial mit den vorgegebenen Jahresbetriebsstunden auf beiden Seiten voll ausgeschöpft ist. Im Bericht werden zusätzlich zwei Hinweise ausgegeben, dass der geforderte Heiz- und Kühlbedarf nicht gedeckt werden kann und eine zusätzliche Wärmequelle und Wärmesenke benötigt wird. Die Fluidtemperatur erreicht das obere und untere Temperaturlimit.
- **Fall 2 - Ein Deckungsbeitrag auf der Heiz- oder Kühlseite wird nicht erreicht (< 100 %), die Vorgabe der betriebsweise auf der anderen Seite wird mit 100 % gedeckelt:**
Bei diesem Fall ist die Höhe des Potenzials auf der nicht gedeckten Seite interessant, da es von der Nutzung auf der gedeckten Seite abhängig ist. Beispielsweise ist das Heizpotenzial höher wenn viel gekühlt/regeneriert wird im Vergleich wenn nicht oder wenig gekühlt/regeneriert wird. Deswegen wird das Potenzial mit der gedeckten Seite nicht ausgeschöpft und mit 100 % des Bedarfs gedeckelt. Mit dieser Vorgabe wird das erzielbare Potenzial auf der nichtgedeckten Seite ermittelt. Im Bericht wird darauf hingewiesen, dass eine Seite nicht gedeckt werden kann und dass das Potenzial der gedeckten Seite nicht ausgeschöpft ist. Bei der Simulation der Fluidtemperaturen ist ersichtlich, dass das Temperaturlimit auf der gedeckten Seite nicht erreicht wird.
- **Fall 3 - Beide Deckungsbeiträge auf Heiz- und Kühlseite werden erreicht (> 100 %):**
Dieser Fall tritt ein, wenn die Größe des Sondenfelds ausreichend oder größer ist als die angegebene Energie, die das Gebäude benötigt. In diesem Fall wird das angegebene Leistungsverhältnis von Heiz- zur Kühlleistung nicht verändert, sodass im Regelfall nur eine Seite das Potenzial voll ausschöpfen kann. Der Deckungsbeitrag ist somit auf beiden Seiten gleich groß. Übersteigt der Deckungsbeitrag 110 %, so wird im Bericht ein Hinweis ausgegeben, um welchen Faktor das Sondenfeld verkleinert werden kann um den Bedarf zu decken. Sie können nun die Sondenlänge und/oder die Sondenanzahl um diesen Faktor verringern. Beachten Sie, dass eine Veränderung der Sondenfeldgeometrie auch den gegenseitigen Einfluss und die Untergrundtemperatur beeinflusst, wodurch sich der Verkleinerungsfaktor abermals verändern kann.

Hinweise zu den Deckungsbeiträgen:

- Der Fall, dass eine Seite nicht gedeckt ist (<100 %) und die andere Seite überdeckt ist (>100 %) ist durch die Deckelung bei Fall 2 somit nicht möglich.

- Wird zusätzlich eine automatisch ausgeglichene Betriebsweise berechnet gilt folgendes:
 - Falls bei mit der vorgegebenen Betriebsweise eine Seite mit 100 % gedeckelt wird, wird nun zusätzliches Potenzial genützt um das Potenzial auszunutzen und das Temperaturlimit wird erreicht.
 - Durch die Anpassung der Betriebsweise auf einen energetisch ausgeglichenen Betrieb bei den Erdsonden ist der Deckungsbeitrag für Leistung und Energie angegeben und in der Regel auf einer Seite auch unterschiedlich hoch. Durch die Veränderung der Jahresbetriebsstunden auf einer Seite kann es unter Umständen vorkommen, dass die Leistungsdeckung niedriger ist als mit der vorgegebenen Betriebsweise. Der energetische Deckungsbeitrag ist jedoch immer höher.

Automatisch ausgeglichene Betriebsweise

Bei bestimmten Vorgaben (siehe Kriterien) wird zusätzlich das Potenzial mit einer automatisch angepassten Betriebsweise berechnet, sodass im Erdsondenfeld übers Jahr gleich viel Energie eingespeichert wie entnommen wird. Die automatische Anpassung der Betriebsweise geschieht in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird dazu das Leistungsverhältnis zwischen Heizen und Kühlen optimiert (siehe Schritt 1: Optimierung des Leistungsverhältnisses). Im zweiten Schritt wird die Betriebsweise, basierend auf Ihren Eingabewerten, so angepasst, dass die Energiebilanz im Sondenfeld übers Jahr ausgeglichen ist. Die Höhe einer der beiden Jahresbetriebsstunden Heizen oder Kühlen wird verändert (siehe Schritt 2: Anpassung der Jahresbetriebsstunden). Heiz- und Kühlpotenzial werden mit der automatisch ausgeglichenen Betriebsweise immer voll ausgeschöpft.

Die Berechnung der automatisch ausgeglichenen Betriebsweise wird nur bei Erfüllung folgender Kriterien ausgegeben:

- Sondenanzahl > 6
- Jahresenergiebilanz der vorgegebenen Betriebsweise (Verhältnis Entladen zu Beladen der Erdwärmesonden) ist nicht ausgeglichen (Toleranz 10 %)
- Der Deckungsbeitrag Heizen und Kühlen liegt unterhalb 110 % (für zu groß dimensionierte Sondenfelder wird keine automatisch ausgeglichene Betriebsweise vorgeschlagen, nur der Hinweis, dass das Sondenfeld verkleinert werden kann).

Die Berechnung der Vorgabe der Jahresbetriebsstunden für die automatisch ausgeglichene Betriebsweise geschieht in zwei Schritten:

Schritt 1: Optimierung des Leistungsverhältnisses Pf_{opt} zwischen Heizen und Kühlen:

Basis zur Berechnung ist die ungestörte Untergrundtemperatur T_{ground} und das maximal nutzbare Temperaturdifferenz zum oberen (28 °C) und unteren Temperaturlimit (-1.5 °C) des Sondenfluids.

$$Pf_{opt} = \frac{T_{ground} + 1.5^{\circ}C}{28^{\circ}C - T_{ground}}$$

Schritt 2: Anpassung der Jahresbetriebsstunden auf Basis dessen Eingabewerte BS_{HZ} und BS_{KL} :

$$\text{wenn } BS_{HZ} \geq \frac{BS_{KL}}{Pf_{opt}} : BS_{KL_{bal}} = BS_{HZ} \cdot Pf_{opt}$$

$$\text{sonst: } BS_{HZ_{bal}} = BS_{KL} / Pf_{opt}$$

d.h. eine der beiden Jahresbetriebsstunden wird für die ausgeglichene Betriebsweise erhöht, entweder die für Heizen $BS_{HZ_{bal}}$ oder die für Kühlen $BS_{KL_{bal}}$. Mit Ausnahme, wenn die Erhöhung 4380 h/a (halbes Jahr) überschreiten würde, dann wird diese Seite auf 4380 h gesetzt und die andere Seite entsprechend dem Leistungsfaktor verringert.

Die Vorgabe für die automatisch ausgeglichene Betriebsweise erfüllt also immer folgende Bedingung einer ausgeglichenen Energiebilanz: $Pf_{opt} \cdot \frac{BS_{HZ_{bal}}}{BS_{KL_{bal}}} = 1.0$

Ein Spezialfall tritt ein, wenn die Vorgabe der Betriebsstunden kleiner als 500 h/a beträgt: Dann wird die kleinere Vorgabe auf 500 h/a gesetzt und die andere Seite entsprechend dem Leistungsverhältnis angepasst. Eine ausgeglichene Betriebsweise mit kleinen Betriebsstunden hat keinen Vorteil.

Spezialfall „Einseitiger Betrieb“

Wird eine der Vorgaben der Jahresbetriebsstunden auf Null gesetzt, so wird das Potenzial einseitig berechnet, also als reine Heiz- oder Kühlanwendung.

Wird bei der optionalen Leistungsvorgabe nur Heiz- oder Kühlseite befüllt und die andere Seite ist Null oder Leer, so wird ebenso ein einseitiger Betrieb gerechnet. Achtung: Auch die Jahresbetriebsstunden der Seite ohne Wert werden programmintern Null gesetzt.

Normbetrieb

Die Normbetriebsstunden sind typische Volllaststunden für Heizen und Kühlen am Standort für ein Ein-/Zweifamilien-Wohnhaus. Die Höhe der Normbetriebsstunden ist abhängig von der mittleren Jahrestemperatur des Erdbodens an der Oberfläche. Die Jahresbetriebsstunden Heizen wurden von der Schweizer Norm für Erdwärmesonden ⁽⁵⁾ abgeleitet, die für Kühlen wurden durch lineare Anpassung von Erfahrungswerten abgeschätzt und sind in Abbildung 5 dargestellt. Einige Orte in Österreich sind in der Abbildung beim jeweiligen Jahresmittelwert der Bodentemperatur eingetragen und die Normbetriebsstunden für Heizen- und Kühlen können abgelesen werden.

Die Normbetriebsstunden werden in der Eingabemaske nach Auswahl eines Grundstücks automatisch als Jahresbetriebsstunden vorausgefüllt oder auch angenommen, wenn die Angaben der Jahresbetriebsstunden beide leer oder Null sind.

⁵ SIA 384-6:2010: Erdwärmesonden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich

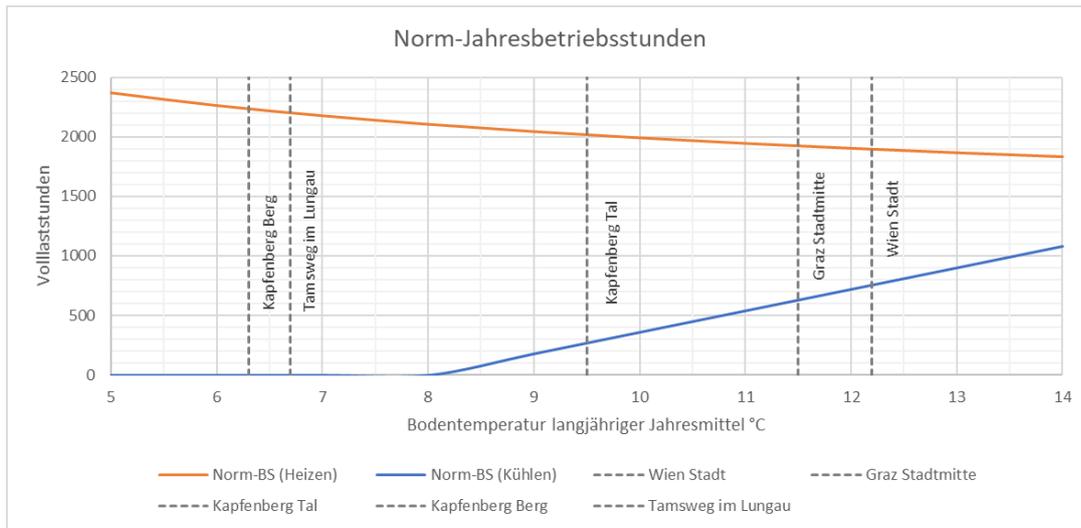


Abbildung 5: Norm-Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Bodentemperatur mit 5 Beispielen aus Österreich.

Vorgabe der Betriebsweise

Die Vorgabe der Betriebsweise wird als Heiz- und Kühlbetrieb in Form von Jahresbetriebsstunden angegeben, und beschreibt das Verhältnis zwischen benötigter Jahresenergie und Nennleistung des Gebäudes (bzw. der Wärmepumpe).

Der Heiz- und Kühlbetrieb kann in vier kompakten Phasen vorgegeben werden:

- Heizphase mit Volllaststunden
- Betriebsstillstand bis Jahresmitte
- Kühlphase mit Volllaststunden
- Betriebsstillstand bis Jahresmitte

Die Betriebsfunktion beginnt immer mit der Heiz- oder Kühlphase mit der höheren Jahresenergiemenge, und zwar mit der jeweiligen halben Dauer dieser Phase. Während des Betriebsstillstands läuft die Wärmeausbreitung im Untergrund weiter und es findet eine „natürliche Regeneration“ statt.

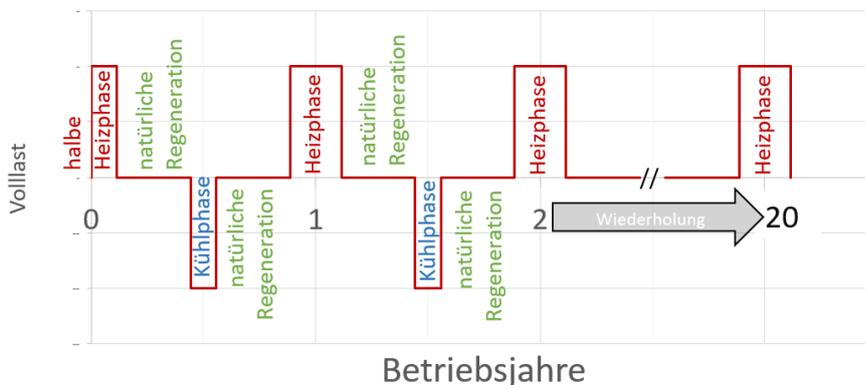


Abbildung 6: Beispiel für die Vorgabe einer Betriebsweise mit 2000 h Heizen, 2880 h Stillstand, 1000 h Kühlen, 2880 h Stillstand pro Jahr. Ergebnis der Potenzialberechnung ist die Höhe der Heiz- und Kühllastleistung (Volllast) mit dieser Betriebsweise.

Abbildung 6 zeigt ein Beispiel der Vorgabe einer Betriebsweise. Die erzielbaren Volllast-Leistung ist ein Ergebnis der Berechnungen. Eine Heiz- oder Kühlphase kann dabei mit maximal 4380 h pro Jahr

vorgegeben werden. Bei dieser Vorgabe wäre die nächste Stillstands-Phase gleich 0 h pro Jahr. Die Minimale Vorgabe einer Heiz- oder Kühlphase ist 0 h/a, mit nachfolgender Stillstandsphase von 4380 h/a.

Die Jahresbetriebsstunden zur Vorgabe der Betriebsweise können bei Kenntnis der Jahresenergiemengen und der benötigten Leistungen der zu versorgenden Gebäude berechnet werden. Als Leistung ist jene anzugeben, die das Heizsystem im Vollbetrieb benötigt. Bedenken Sie, dass für ein Heiz- und Kühlsystem mit Erdwärmesonden kleine Leistungen und hohe Jahresbetriebsstunden günstig sind, also hohe Jahresbetriebsstunden – **Vermeiden Sie eine Überdimensionierung der Wärmepumpen.**

Beispiel zur Berechnung der Jahresbetriebsstunden:

Benötigte Jahresenergiemenge für Heizzwecke: 10 000 kWh/a

Benötigte Jahresenergiemenge für Kühlzwecke: 5 000 kWh/a

Leistung der Wärmepumpe bei B0W35 im Heizbetrieb: 5 kW

Maximalleistung für Gebäudekühlung/-temperierung: 5 kW

$$\text{Jahresbetriebsstunden Heizen} = \frac{10000 \text{ kWh/a}}{5 \text{ kW}} = 2000 \text{ h/a}$$

$$\text{Jahresbetriebsstunden Kühlen} = \frac{5000 \text{ kWh/a}}{5 \text{ kW}} = 1000 \text{ h/a}$$

Fixe Parameter für die Simulation

Die folgenden Parameter werden für alle Simulationen verwendet und können in der laufenden Version nicht durch eine Eingabe verändert werden.

- Simulationsjahre: 20 Jahre
- Volumetrische Wärmekapazität des Erdreichs: 2.2 MJ/m³/K
- Sondenkopf Überdeckung: 1 m
- Bohrradius: 0.075 m
- Sondentyp: Duplex 32 mm, 0.04 m Rohrabstand
- Wärmeträgermedium: Ethanol 15 %
- Massenstrom pro Sonde: 0.4 kg/s
- Wärmeleitfähigkeit der Verpressung: 2 W/m/K
- Minimale mittlere Fluidtemperatur am Ende der Heizsaison: -1.5 °C
- Maximale mittlere Fluidtemperatur am Ende der Kühlsaison: 28 °C

Verwendete 3rd-Party Software

Die Berechnungen der Wärmeübergänge für Erdwärmesonden und der gegenseitige Einfluss mehrere Sonden werden mit dem Python-Modul `pygfunction` durchgeführt (siehe <https://pypi.org/project/pygfunction/>). Das Modul ist lizenziert unter der „BSD 3-Clause "New" or "Revised" Lizenz:

THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

Copyright (c) 2017-2023, Massimo Cimmino All rights reserved.