

# Geothermie-Atlas

## Anleitung und Methodik zur Potenzialberechnung von Erdwärmesonden

[geothermieatlas.geosphere.at](http://geothermieatlas.geosphere.at)

Version 1.0

Einleitung.....	1
Anleitung .....	2
Methodik und Berechnungsdetails .....	7
Verwendete 3rd-Party Software .....	12

### Einleitung

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 auf der Karte wird ein automatischer Vorschlag zur Platzierung der Tiefenbohrungen der Erdwärmesonden gemacht. 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 <sup>(1)</sup> vorausgefüllt. Nun kann die Berechnung gestartet werden. Optional kann auch der Leistungsbedarf des Gebäudes für Heizen und Kühlen angegeben werden, mit der Auswirkung, dass ein Deckungsbeitrag von Angebot zu Bedarf berechnet wird.

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. Ein PDF Bericht, der angefordert werden kann, beschreibt die Ergebnisse der Potenzialabschätzung im Detail.

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 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.

---

<sup>1</sup> SIA 384-6:2010: Erdwärmesonden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich

## 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 (4). Die Angabe der Gebäudeleistung ist optional (5). Danach kann die Berechnung gestartet werden (6) und die Zusammenfassung der Ergebnisse werden in (7) angezeigt. Details zur Berechnung und Ergebnisse können als PDF-Bericht angefordert werden.



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](http://geothermieatlas.geosphere.at) in Ihrem Browser.
- Klicken Sie auf der Hauptseite direkt „Zur Potenzialberechnung“ oder im Menü auf Erdwärmesonden und „Potenzialberechnung“

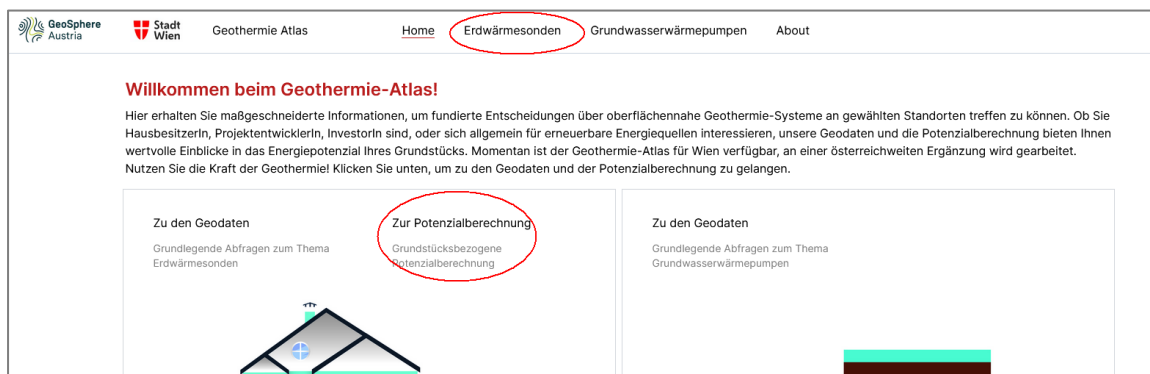


Abbildung 2: Bildschirmausschnitt auf [geothermieatlas.geosphere.at](http://geothermieatlas.geosphere.at)

## 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) oder rechte Maustaste (drehen)
- Klicken Sie auf ein Grundstück und bestätigen Sie die Frage, ob Sie das Grundstück auswählen wollen mit „Ja“.
- Hinweis: 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 um Ihr gewünschtes Grundstück durch Mausklick auszuwählen“ muss näher herangezoomt werden.

## 3. Sondenfeld auswählen

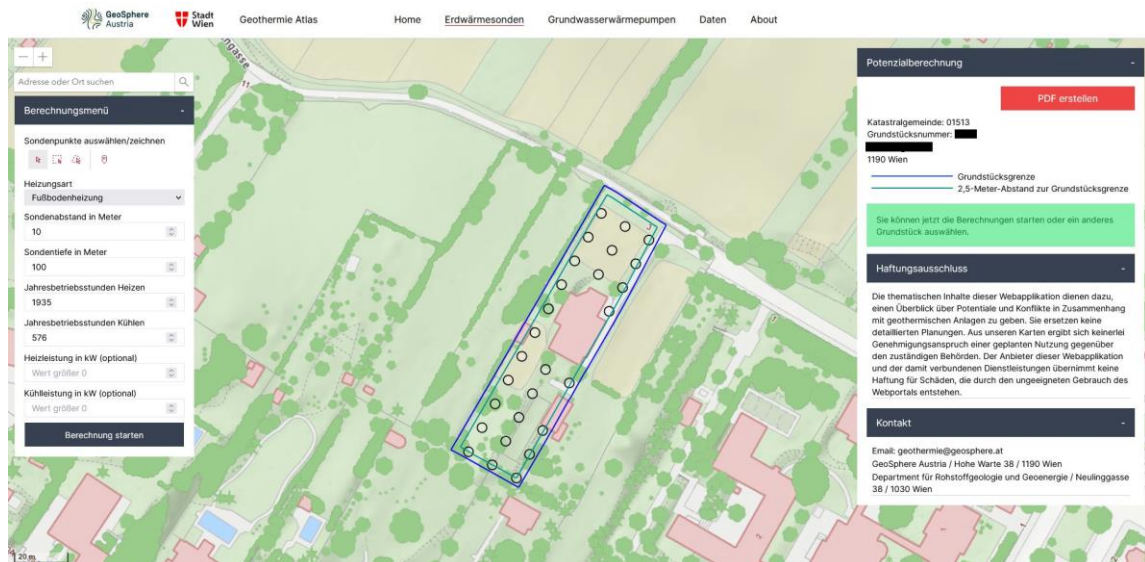


Abbildung 3: Auswahl des Sondenfelds auf dem Grundstück.

- Nachdem ein Grundstück ausgewählt wurde wird automatisch ein Vorschlag zur Platzierung der Bohrungen für die Erdwärmesonden (schwarze Kreise) mit einem Sondenabstand von 10 m durchgeführt, siehe Abbildung 3. Dieser Vorschlag berücksichtigt die Orientierung des Grundstücks und ignoriert bebaute Flächen (rosa). Andere Faktoren, wie unterirdische Einbauten, Vegetation oder Zugänglichkeit für das Bohrgerät können nicht berücksichtigt werden.
- Im nächsten Schritt kann das Sondenfeld angepasst werden, indem der Sondenabstand schrittweise verändert (Wertebereich 5 - 15 m) oder die Sondentiefe (Wertebereich 80 - 250

m) direkt angegeben wird. Durch Nutzung des interaktiven Tools auf der linken Seite können außerdem Bohrpunkte ausgewählt und verschoben oder Neue gesetzt werden.

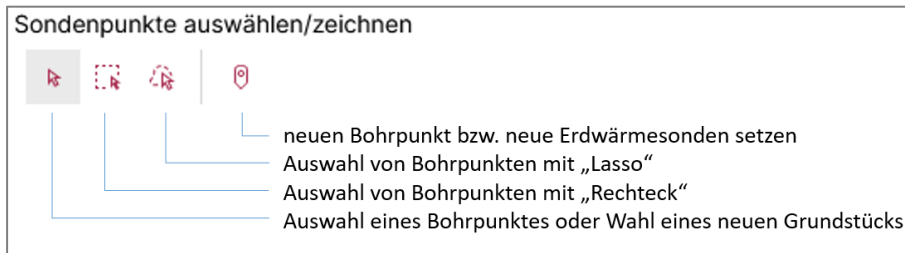


Abbildung 4: Interaktives Tool zur Anpassung der Lage der Erdwärmesonden

- Werden bestimmte Bohrpunkte ausgewählt erscheinen neue Tools um die markierten Bohrpunkte zu kopieren oder zu löschen



Hinweise:

- Es kann auch ein Bohrpunkt außerhalb des Grundstücks oder innerhalb der 2,5 m Grenze zum Grundstück. 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.
- Eine Auswahl mehrere Grundstücke ist nicht möglich. Soll ein Sondenfeld über mehrere Grundstücke reichen, müssen die Bohrpunkte manuell gezeichnet werden.
- Bei Auswahl des Grundstücks werden die Angaben für die Betriebsweise (Jahresbetriebsstunden Heizen und Jahresbetriebsstunden Kühlen) vorausgefüllt, siehe nachfolgendes Kapitel.

#### 4. Betriebsweise festlegen

Nach Auswahl eines Grundstücks werden die Felder für der Jahresbetriebsstunden Heizen und Kühlen mit Normjahresbetriebsstunden vorausgefüllt. Die Größe der Werte richtet sich nach der mittleren Bodentemperatur an der Oberfläche und entspricht sehr vereinfacht einem typischen Wohnhaus am Standort.

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 zwei 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 60 °C gerechnet. Dadurch ergibt sich im kältesten Zustand der Erdwärmesonden (Mitteltemperatur Wärmeträgerfluid -1,5 °C) eine Leistungszahl von 3,13.

Hinweise:

- Ein reiner Heizbetrieb (Betriebsweise ohne Kühlung) wird berücksichtigt, indem bei Jahresbetriebsstunden für Kühlen Null „0“ eingegeben wird, bzw. die automatischen Werte gelöscht werden. Ein reiner Kühlbetrieb (Betriebsweise ohne Heizung) erfolgt entsprechend durch Leer- oder 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 leer oder Null, so wird wieder mit Normbetriebsstunden gerechnet.
- Die Auswahl der Höheren Heizungstemperatur (Radiator 60 °C) liefert einene höheren Potenzialwert. Das Potenzial aus den Erdsonden ist zwar gleich groß wie bei Vorgabe „Fußbodenheizung 35 °C“, allerdings wird durch den niedrigeren COP mehr Strom benötigt, wudurch dem Gebäude insgesamt mehr Leistung zur Verfügung steht.

Details zur Berechnung der Normbetriebsstunden und der Betriebsweise sind im Kapitel „Methodik und Berechnungsdetails“ nachzulesen.

## 5. Leistungsangabe (optional)

Optional kann die gewünschte Gebäudeleistung für Heizen und Kühlen angegeben werden. Dadurch wird in der Ergebnisdarstellung ein Deckungsbeitrag berechnet, indem der gewünschte Leistungsbedarf mit dem Potenzial als Ergebnis verglichen wird.

Eine Leistungsangabe kann dazu führen, dass das Potenzial nur auf einer Seite, also entweder Kühl- oder Heizseite ausgeschöpft wird. Die jeweils andere Seite wird dann mit 100 % des angegebenen Bedarfs gedeckelt. Details siehe Kapitel „Methodik und Berechnungsdetails“.

Hinweis:

- Wird nur einer der Werte, also Heiz- oder Kühlleistung, angegeben und der jeweils andere Wert Leer oder Null gesetzt, so werden programmintern auch die Jahresbetriebsstunden der zugehörigen Betriebsart Null gesetzt.

## 6. Berechnung starten

Ist das Grundstück ausgewählt, 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, wie oben erläutert.

- Durch Klick auf das Energieflussdiagramm wird die Grafik in einem neuen Tab in voller Größe angezeigt.
- Durch Klick auf „PDF erstellen“ wird ein vollständiger, automatisch generierter Bericht zum Download angeboten.

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.

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 <sup>(2)</sup><sup>(3)</sup>. Die g-Funktionen und die Wärmeübergänge der Erdwärmesonde werden mit dem Python-Modul „pygfunction“ durchgeführt <sup>(4)</sup>. Das Berechnungsprogramm zur direkten Berechnung des erzielbaren Heiz- und Kühlpotenzials eines Sondenfeldes 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 Sondenfeldes (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 Gebäudeniveau ist zusätzlich die Angabe der Heizvorlauftemperatur (3) erforderlich. Alle weiteren Parameter (6) sind fix vorgegeben.

Als Ergebnis wird das erzielbare Heiz- und Kühlpotenzial des Sondenfeldes 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.

---

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

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

<sup>4</sup> 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 Sondenfeldes 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:  $Pf_{opt} \cdot \frac{BS_{HZbal}}{BS_{KLbal}} = 1.0$

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 oder nicht ausgefüllt (kein Wert angegeben), 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 <sup>(5)</sup> 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.

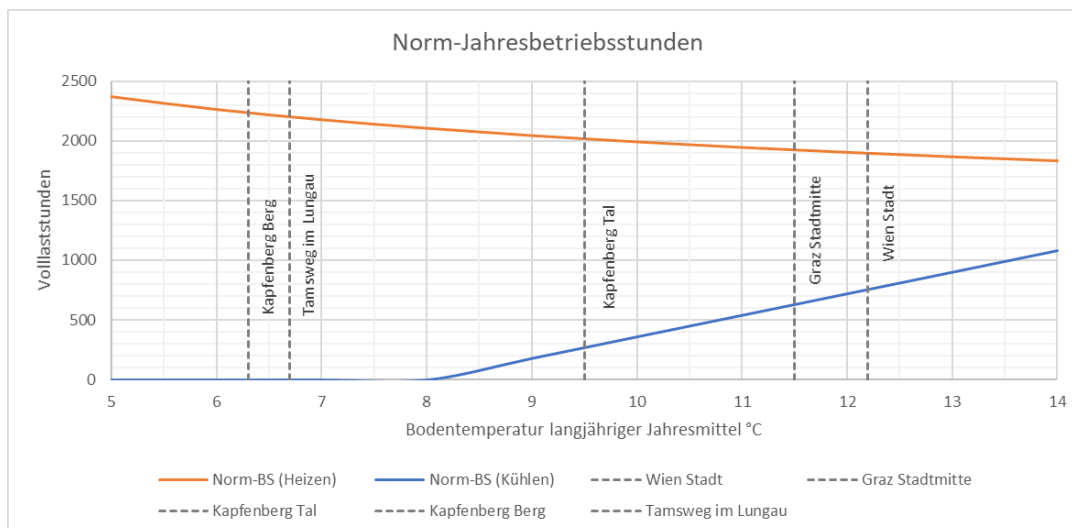


Abbildung 5: Norm-Jahresbetriebsstunden in Abhängigkeit der Bodentemperatur mit 5 Beispielen aus Österreich.

<sup>5</sup> SIA 384-6:2010: Erdwärmesonden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich

### Vorgabe der Betriebsweise

Die Vorgabe der Betriebsweise wird als Heiz- und Kühlobetrieb in vier kompakten Phasen gehalten:

- 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.

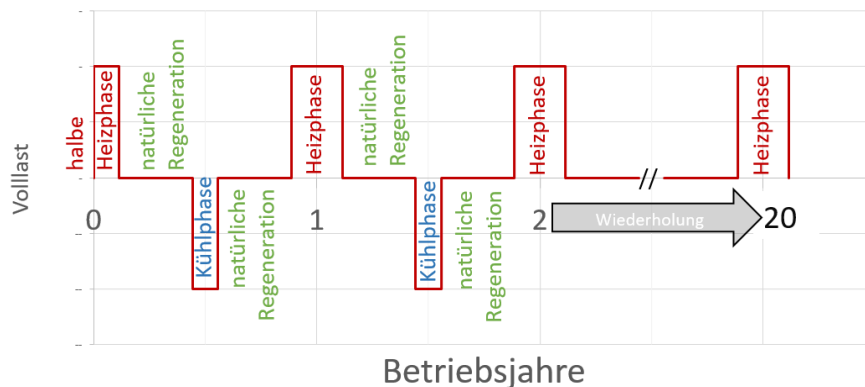


Abbildung 6: Beispiel für die Vorgabe einer Betriebsweise mit 2000 h Heizen, 2880 h Stillstand, 1000 h Kühlen, 2880 h Stillstand pro Jahr. Ergebnis der Potenzialberechnung ist die Höhe der Heiz- und Kühlleistung (Volllast) mit dieser Betriebsweise.

Abbildung 6 zeigt ein Beispiel der Vorgabe einer Betriebsweise. Die erzielbaren Volllast-Leistungen sind Ergebnis der Berechnungen. Eine Heiz- oder Kühlphase kann dabei mit maximal 4380 h pro Jahr vorgegeben werden. Bei dieser Vorgabe wäre die nächste Stillstandsphase 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 – **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/m<sup>3</sup>/K
- Sondenkopf Überdeckung: 1 m
- Bohrradius: 0.075 m
- Sondentyp: Duplex 32 mm, 0.04 m Rohrabstand
- Wärmeträgermedium: Ethanol 12 %
- 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.