

T1 Wärmepumpenheizungsanlage mit Erdwärmesonden

Inhalt

1. Einführung
 - 1.1. Wärmefluss
 - 1.2. Vergleich von Einflussfaktoren
 - 1.3. Belastungsdauer (Betriebsstunden der Wärmepumpe)
2. Querhinweis auf Normen und andere Schriftstücke
3. Erdwärmesonden
 - 3.1. Bauarten
 - 3.2. Sondenwerkstoffe
 - 3.3. Tiefenbohrung und Einbau
 - 3.4. Einfluss von Tiefe und Durchmesser
4. Wärmeträgermedium
 - 4.1. Wahl des Wärmeträgermediums
 - 4.2. Konzentration und Stoffwerte
 - 4.3. Strömungsgeschwindigkeiten
 - 4.4. Überwachung
5. Sondenlängen / Entzugsleistungen
 - 5.1. Entzugsleistungen
 - 5.2. Dimensionierung
6. Auswahl und Dimensionierung
 - 6.1. Dimensionierung der Anlageteile
 - 6.2. Bestimmung der Wärmepumpen-Heizleistung
 - 6.3. Maximale Betriebsdauer der Erdwärmesondenanlage
 - 6.4. Wärmequellenförderpumpe
7. Betriebsweise der Anlage
 - 7.1. Monovalenter Betrieb
 - 7.2. Bivalenter Betrieb
8. Heizsystemtemperatur
9. Auslegungsbeispiel
10. Ausführungshinweise
11. Prinzipschema
12. Auslegungsdiagramme (Anhang)

1. Einführung

Das vorliegende Merkblatt über Wärmepumpenheizungsanlagen mit Erdwärmesonden, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen, soll dem Planer helfen, insbesondere bei der Auslegung der Wärmequellenanlage mehr Transparenz zu verschaffen. Als Basis dienen die Praxiserfahrungen der AWP-Firmen, Messresultate von Pilotanlagen sowie Ergebnisse der Untersuchungen/Simulationen. Im Weiteren wurden die Resultate der Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen (FAWA) aus dem Jahre 2004 berücksichtigt.

1.1. Wärmefluss

Als Erdwärme wird diejenige Wärme bezeichnet, die aus dem Erdinnern durch die **Erdkruste** zur Erdoberfläche fliesst.

Die Erdkruste unter den Kontinenten ist ca. 35 km stark. Darunter liegt der sogenannte Erdmantel mit einer Mächtigkeit von ca. 2'900 km und einer Temperatur von ca. 1'200°C. Da die Erdkrustentemperatur nahe der Oberfläche ca. 6 - 11°C beträgt, bedeutet dieses Temperaturgefälle in der Schweiz einen Wärmestrom von ca. 0.063 bis 0.100 Watt pro m².

Aus der **Tiefe** fliesst so ständig eine **spezifische Wärmeleistung von 0.060 bis 0.100 Watt pro m²**.

Aufgrund der oben beschriebenen Abstrahlung kühlt sich die Erde langsam – innert Milliarden von Jahren – ab. Diese Wärmeenergie kann somit ohne weiteres als erneuerbar und unerschöpflich betrachtet werden.

Mit der **Erdwärmesonde** wird dieser Wärmestrom als Wärmequelle genutzt, wobei die niedrige Wärmeleistung **entsprechend** berücksichtigt werden muss. Zu hohe EntnahmelLeistungen und stetiger Betrieb verursachen eine praktisch **irreversible** Veränderung der Erdwärmesondenumgebung.

Bei stetigem Energieentzug sinkt die Erdreichtemperatur in der Sondenumgebung trichterförmig. Dieser Temperaturtrichter entspricht einem bestimmten Wert der Wärmeentnahme, die als **spezifische Erdwärmesondenleistung (Belastung) in W/m** definiert wird. Intensive Entnahmen führen zu einem steileren Trichter Verlauf und tieferer Sonden-temperatur (Zwischenkreistemperatur der Wärmequellen). Um eine gute Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage zu erreichen, muss eine möglichst hohe **Wärmequellentemperatur** angestrebt werden. **Dies ist nur mittels weniger Wärmeentzug pro Meter Sondenlänge möglich**, da die Wärmeleitfähigkeit, die Temperatur des Erdreichs und der Sonden-durchmesser gegeben sind.

Dieses Merkblatt gilt **nicht für Energiepfähle**. Hier gelten aus statischen Gründen andere Auslegungsparameter.

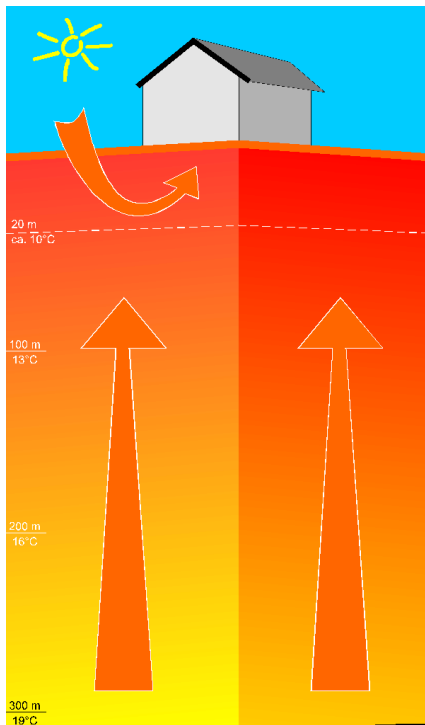


Abb. 1 Bodentemperaturen in Abhängigkeit der Tiefe und Jahreszeit

1.2. Vergleich von Einflussfaktoren

Die mögliche Belastung einer Erdwärmesonde hängt in erster Linie vom Untergrund und von der Bohrtiefe ab. Einige tiefe Erdwärmesonden ergeben eine bessere Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage als mehrere weniger tiefe Erdwärmesonden bei gleicher Totallänge. Ebenso ist die geografische Lage (Mittelland / Bergregion) des Gebäudes zu berücksichtigen.

1.3. Belastungsdauer (Betriebsstunden der Wärmepumpe)

Bei Betriebsunterbrüchen erholt sich in der Sondenumgebung das Erdreich thermisch (Ein-/Aus-Betrieb der Wärmepumpe). Diese "Erholung" ist zwingend nötig, weil bei stetigem Wärmeentzug der geringe Wärmefluss nicht ausreicht, um die Dimensionierungsbedingungen aufrecht zu erhalten. Es entsteht also ein Wärmemanko. Zuzufolge des drastischen "Temperatursturzes" in der Umgebung der Erdwärmesonde und der fehlenden thermischen Erholung resultiert nicht nur eine niedrige Leistungszahl für die Wärmepumpe, sondern es besteht die Gefahr einer Vereisung der Sondenumgebung. Vor allem bei tonhaltigen Untergründen kann dies über die Jahre zu einer empfindlichen Verringerung des Wärmeflusses führen, bis die Anlage nicht mehr funktionstüchtig ist. Eine Bauaustrocknung mit Erdwärmesonden ist unter allen Umständen zu unterlassen.

2. Querhinweis auf Normen und andere Schriftstücke

- "Energie aus dem Untergrund" (SIA - Dokumentation D0179)
- "Wegleitung Grundwasserschutz" (BUWAL)
- "Wegleitung für die Wärmenutzung mit geschlossenen Erdwärmesonden" (BUWAL)
- "Gütesiegel für Erdwärmesonden" (FWS)
- VDI 4640 Blatt 1 und 2

3. Erdwärmesonden

3.1. Bauarten

In der Schweiz werden zur Hauptsache Doppel-U-Rohr-Sonden in den Dimensionen 32 mm und 40 mm Aussendurchmesser verwendet. Die 32er-Erdwärmesonden kommen vor allem bei Tiefen von 60 bis max. 150 m zum Einsatz. Die 40er-Erdwärmesonden werden sowohl bei geringen (60 m) wie auch bei grossen Tiefen (bis 300 m) eingesetzt. Die sogenannten Koaxial-Sonden sind heute praktisch vom Markt verschwunden.

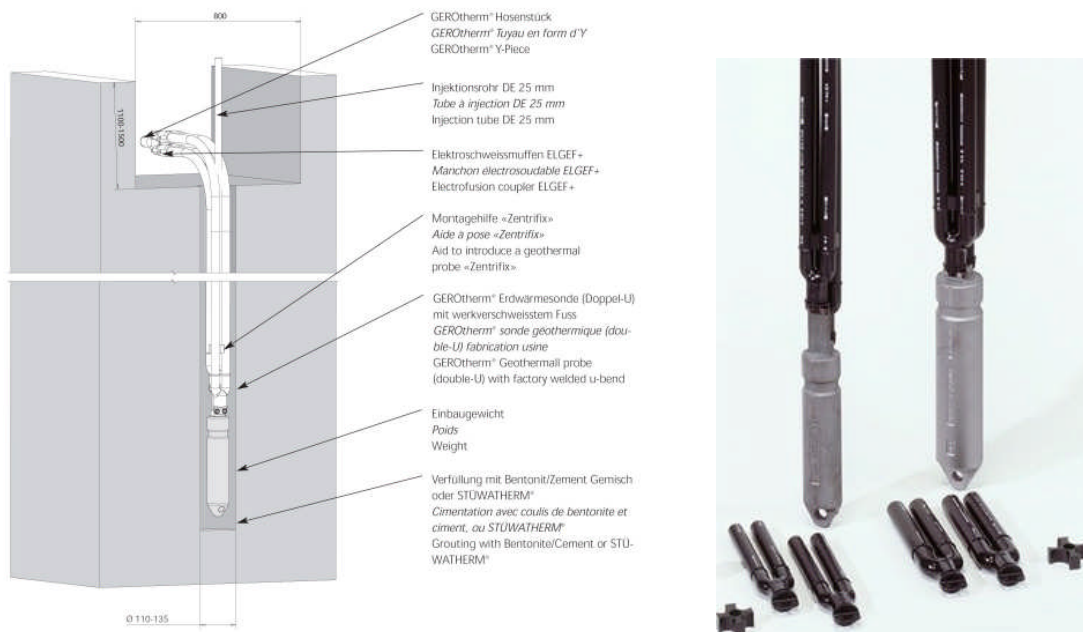


Abb. 2 Sondenfuss einer Duplex-Sonde

3.2. Sondenwerkstoffe

In der Regel wird Polyethylen (vorwiegend PE 100 SDR 11) als bewährter Werkstoff eingesetzt. Die Rohre müssen den auftretenden Systemdrücken (Differenz zwischen Innen- und Aussendruck der Erdwärmesonden) standhalten, korrosionsbeständig sein und gute Schweiseseigenschaften aufweisen. Bei einer korrekten Hinterfüllung heben sich Innen- und Aussendruck annähernd auf.

3.3. Tiefenbohrung und Einbau

Die Bohrungen werden im Bereich von 60 bis über 300 m Tiefe mit einem Durchmesser von ca. 115 mm bis 178 mm ausgeführt (je nach Tiefe und Bohrungsart). Die eingebauten Sondenrohre müssen mit der Bohrwand in gutem, wärmeleitfähigem Kontakt stehen (siehe Wegleitung für die Wärmenutzung mit geschlossenen Erdwärmesonden des BUWAL 1994 / überarbeitete Ausgabe ab ca. Ende 2007 erhältlich). Eine vollständige und lückenlose Hinterfüllung kann nur mit **einer Fülltechnik von unten nach oben** erreicht werden. Diese Fülltechnik wird vom Bund vorgeschrieben. Eine Hinterfüllung (Injektion) von oben hinterlässt immer Hohlräume (Lufteinschlüsse). Obwohl auch andere Materialien einen wärmeleitfähigen Kontakt garantieren können, kommen für die geforderte Fülltechnik nur flüssige Füllstoffe (z.B. Zement/Bentonit oder ähnliche Suspensionen) in Frage. Erdwärmesonden mit schlechtem Bodenkontakt erbringen die erwartete Entzugsleistung nicht, die Wärmequellentemperatur kann relativ rasch absinken und die erforderliche Heizleistung der Wärmepumpe wird nicht mehr erreicht.

3.4. Einfluss von Tiefe und Durchmesser

Tiefere Erdwärmesonden lassen eine höhere spezifische Leistung bei gleicher mittlerer Quellentemperatur zu, oder es ergibt sich eine höhere mittlere Quellentemperatur bei gleicher Totallänge. Die Erdreichtemperatur nimmt pro 30 m Tiefe um ca. 1 °C zu. Die tiefen Erdwärmesonden haben jedoch einen grösseren Durchflusswiderstand. Die Optimierung muss daher anlagespezifisch erreicht werden (Anzahl Sonden, Wärmequellen-temperatur, Leistungszahl der Wärmepumpe, Wirkungsgrad der Solepumpe).

4. Wärmeträgermedium

4.1. Wahl des Wärmeträgermediums

Es dürfen nur Wärmeträgerflüssigkeiten eingesetzt werden, die das Wasser nicht gefährden. Darüber hinaus sind weitere wichtige Kriterien zu beachten:

- Herstellerangaben (Wärmepumpen-, Wärmeträger- sowie übrige Anlagekomponenten-);
- die Stoffwerteigenschaften beeinflussen die Wärmeübertragung und damit die Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage;
- die Viskosität beeinflusst in hohem Masse den Systemwiderstand und dadurch die Aufnahmeleistung der Förderpumpe (Herstellerangaben beachten);
- das gewählte Wärmeträgermedium muss über eine lange Betriebszeit alterungsbeständig und frei von Korrosionseinflüssen gegenüber den verschiedenen Werkstoffen innerhalb des Systems sein (stabiles Langzeitverhalten).

4.2. Konzentration und Stoffwerte

Die Konzentration – Mischungsverhältnis mit Wasser – verändert den Stoffwert des Mediums (Gemisches) beträchtlich. Die erhöhte Konzentration bewirkt eine Erhöhung der Viskosität und damit den Durchflusswiderstand in den Rohren, Erdwärmesonden und im Wärmepumpenverdampfer.

Die Frostsicherheit der Füllung in °C muss nach der tiefstmöglichen Verdampfungstemperatur der Wärmepumpe ausgelegt werden, wobei zusätzlich die Herstellerangaben der Wärmeträgermediumlieferanten in Bezug auf die minimale Konzentration zu beachten sind (Herstellerangaben beachten).

4.3. Strömungsgeschwindigkeiten

Die angegebenen Durchflussmengen des Wärmeträgers werden vom Wärmepumpen-Hersteller angegeben und sind nur nach Rücksprache zu verringern. Eine geringere Durchflussmenge reduziert die Strömungsgeschwindigkeit im System, und die Wärmeübertragungsleistung sowohl im Wärmepumpen-Verdampfer als auch in den Erdwärmesonden nimmt ab. Die Heizleistung der Anlage kann unter Umständen nicht mehr erreicht werden.

4.4. Überwachung

Obwohl eine Erdwärmesondenanlage eine sehr sichere Anlage darstellt, ist sie hinsichtlich Dichtheit, chemischer Stabilität und Frostsicherheit des Wärmeträgermediums periodisch zu überprüfen. Dabei sind die verschiedenen kantonalen Vorschriften zu beachten.

5. Sondenlängen / Entzugsleistungen

5.1. Entzugsleistungen

Hinweis: Die Entzugsleistung der Erdwärmesonde entspricht der Kälteleistung der Wärmepumpe. Die Heizleistung der Wärmepumpe muss dem Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes entsprechen.

Als mittlere spezifische Entzugsleistung der Erdwärmesonde sollte als Richtwert 50 W/m nicht überschritten werden.

$$\text{Sondenlänge} = \frac{\text{Wärmeleistungsbedarf (W)} - \frac{\text{Wärmeleistungsbedarf (W)}}{\text{COP bei BO/W35}}}{\text{Sondenentzugsleistung (40 - 50 W/m)}}$$

Anstelle der Sondenentzugsleistung kann auch die Sondenentzugsenergie (ca. 90 kWh/m/a) verwendet werden.

$$\text{Sondenlänge} = \frac{\text{Wärmebedarf (kWh)} - \frac{\text{Wärmebedarf (kWh)}}{\text{Erwartete JAZ (resp. mittlerer COP)}}}{\text{Sondenentzugsenergie (90 kWh/m/a)}}$$

Die im ersten Kapitel erwähnten Messungen zeigen folgende Abweichungen:

- Grundwasserführende Erdschichten (bei Lambda-Wert > 3 W/mK): bis 80 W/m
- Fels und feuchter Boden (Lambda-Wert > 2 W/mK): 50 - 55 W/m
- Trockener Boden (bei Lambda-Wert < 1.5 W/mK): bis max. 30 W/m
- Anlagen mit drei und mehreren Erdwärmesonden haben zufolge der gegenseitigen Beeinflussung eine geringere Entzugsleistung.
- Bivalente oder andere Anlagen mit hohen Jahreslaufzeiten (> 2'000 Betriebsstunden) müssen mit einer geringeren Entzugsleistung (W/m) ausgelegt werden.
- Bergregionen haben tiefere Bodentemperaturen und somit geringere Entzugsleistungen.

5.2. Dimensionierung

Aufgrund der Tarifpolitik der Energieversorgungsunternehmen (NT/HT oder Sperrungen) wird die Wärmepumpe grösser dimensioniert, als vom Wärmebedarf her erforderlich wäre. Anschliessend wird das Wärmeverteilsystem festgelegt (Radiatoren, Fussbodenheizung, Speicher ja/nein) und die erforderliche maximale Vorlauftemperatur berechnet. Die bei der mittleren Jahresvorlauftemperatur benötigte Kälteleistung dient als Basis für die Erdwärmesondenauslegung.

Die gewählte Dimensionierungsart basiert auf einer totalen Betriebszeit der Wärmepumpe von ca. 1'800 Betriebsstunden pro Jahr. Diese Betriebsstundenzahl ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen dem Jahresenergiebedarf und der Heizleistung. Die Dimensionierungsart setzt als weitere Basis ein Betriebsverhalten zwischen Stillstands- und Laufzeiten voraus, das auch bei herkömmlichen Wärmeerzeugern besteht. Ein anderes Betriebsverhalten (bei Hallenbädern, Heizen und Kühlen etc.) beeinflusst die Erdwärmesondenanlage derart, dass die Dimensionierung zwecks Gewährleistung der Funktion über Simulationsprogramme erfolgen muss.

6. Auswahl und Dimensionierung

6.1. Dimensionierung der Anlageteile

Die dynamische Verhaltensweise der Wärmepumpe erfordert eine optimale Anpassung der Anlageteile von der Wärmequellenanlage (WQA) bis zur Wärmenutzungsanlage (WNA). Dies ist erforderlich, weil die Vorgänge der WQ- und der WN-Seite mit der Wärmepumpe als Wärmetransportmaschine sehr eng verkoppelt sind. Als Hilfsmittel für die Dimensionierung können die Diagramme ab Abb. 3 (S. 12) beigezogen werden. In diesen Diagrammen wird der Zusammenhang zwischen der Leistung (über die Tiefe integriert), dem Förderstrom der Solepumpe und dem Druckverlust der verschiedenen Sondentypen dargestellt.

6.2. Bestimmung der Wärmepumpen-Heizleistung

Die Heizleistung der Wärmepumpe sollte so gross gewählt werden, wie die erforderliche maximale Heizleistung des Objektes. Eine **Unterdimensionierung** der Wärmepumpenleistung führt zu längeren täglichen Betriebsstunden und insbesondere bei tiefen Aussentemperaturen mit grosser Abnehmerlast zu einem Dauerbetrieb. Infolge fehlender Erholungszeit bei der Wärmequelle führt der Dauerbetrieb schliesslich zum Einfrieren der Sondenumgebung. Bei tonigen Böden kann sogar der Kontakt zwischen der Erdwärmesonde und dem Erdreich stark beeinträchtigt und damit der Wärmefluss drastisch reduziert werden. Auch wird die Hinterfüllung teilweise verändert, was zu Schrumpfungen und Setzungen führen kann.

Wird die Wärmepumpe nicht nur für die Wohnraumheizung benutzt (z.B. auch noch für die Warmwasseraufbereitung), so müssen die erforderlichen Mehrbetriebsstunden bei der Auslegung der Erdwärmesondenlänge berücksichtigt werden (Simulationsprogramme). Die Lade- und Entladezeiten der Anlagen mit Wärmespeicher und die Sperrzeiten der Energieversorgungsunternehmen müssen so abgestimmt werden, dass eine genügende Erholungszeit für die Erdwärmesondenanlage gewährleistet ist. Eine Vereisung des Sondenumfeldes muss unter allen Umständen vermieden werden.

6.3. Maximale Betriebsdauer der Erdwärmesondenanlage

Die unter Ziff. 5.1. aufgeführten spezifischen Entzugsleistungen resp. Entzugsenergien garantieren bei richtiger Dimensionierung beim Intervallbetrieb eine reibungslose Funktion der Anlage. In der Praxis entsteht eine Betriebsstundenzahl von ca. 1'800 Stunden pro Jahr. Die Erdreichtemperatur kann sich bis zur nächsten Heizperiode vollständig regenerieren. Bei günstigen Gesamtverhältnissen (geringe Entzugsleistung, gute Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches, günstige geometrische Anordnung der Erdwärmesonden usw.)

kann eine Betriebsdauer von maximal 2'000 Stunden pro Jahr als obere "Belastungszeit" toleriert werden. Wenn sich höhere Betriebsstunden nicht vermeiden lassen oder wenn ein Sondenfeld geplant ist, sollte entweder die Entzugsleistung beträchtlich verringert oder eine Sommernachladung unter Ausnutzung der Sonnenenergie oder Umweltwärme (Luft) vorgesehen werden.

6.4. Wärmequellenförderpumpe

Weil die mittlere Temperaturdifferenz die Durchflussgeschwindigkeit und die Stoffeigenschaften der verwendeten Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser-Frostschutzgemisch) ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen, muss die Dimensionierung der Wärmequellenförderpumpe sehr sorgfältig erfolgen. Hinzu kommt, dass die Jahresarbeitszahl der Anlage zufolge des hohen prozentualen Anteils der elektrischen Aufnahmeleistung der Wärmequellenförderpumpe, insbesondere bei kleineren Anlagen, wesentlich beeinflusst werden kann. Der Solekreis der Erdwärmesonde muss bezüglich Durchflussmenge und Druckverlusten sorgfältig berechnet werden. Die Leitungsführung und -dimensionierung sowie die Sondenlänge und -anzahl müssen anlagebezogen optimiert werden. Nur so kann eine für die Anlage richtige Wärmequellenförderpumpe bestimmt werden. Bei den verschiedenen möglichen Förderpumpen ist die grosse Differenz beim hydraulischen Wirkungsgrad ebenfalls in die Dimensionierung miteinzubeziehen.

7. Betriebsweise der Anlage

7.1. Monovalenter Betrieb

Die unter Ziff. 5.1. aufgeführten spezifischen Entzugsleistungen resp. Entzugsenergien beziehen sich auf einen monovalenten Betrieb. Die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen bestätigen deren Richtigkeit. Es handelt sich demnach um die sinnvollste Betriebsweise.

7.2. Bivalenter Betrieb

Weil einerseits die Betriebsdauer bei gegebener spezifischer Entzugsarbeit beschränkt ist und andererseits die Betriebsstundenzahl beim bivalenten Betrieb wesentlich ansteigt, muss entweder die Erdwärmesondenanlage den Gegebenheiten angepasst oder die Betriebsstundenzahl entsprechend beschränkt werden. Dies gilt nicht nur für die jährliche Gesamtbetriebsstundenzahl, sondern auch für die tägliche Laufzeit (Intervallbetrieb). Wird keine Regeneration über die Sommermonate vorgenommen, kann mit einer jährlichen Entzugsenergie von 80 - 100 kWh pro m Erdwärmesonde, bei Anlagen mit ein oder zwei Sonden, gerechnet werden.

Um gute Ergebnisse bei bivalent-alternativer oder paralleler Betriebsweise zu erhalten, muss ein praxiserprobtes Simulationsprogramm eingesetzt werden. Ein Simulationsprogramm ergibt aber nur bei richtig eingesetzten Randbedingungen brauchbare Resultate.

8. Heizsystemtemperatur

Eine niedrige Heizsystemtemperatur liegt im Interesse einer höheren Leistungszahl.

Dementsprechend muss die gesamte Erwärmesondenlänge der höheren mittleren Kälteleistung angepasst werden.

9. Auslegungsbeispiel

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage wird von der Auslegung der Wärmequellenanlage wesentlich beeinflusst. Eine Optimierung bezüglich Sondenzahl, Sondentiefe und Sondendurchmesser ist unbedingt erforderlich.

Die folgenden Beispiele zeigen den Einfluss auf die momentane Leistungszahl und damit auch auf die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenheizungsanlage.

Gegeben:

EFH / Q_h = 10.7 kW bei t_A = - 10°C

Heizsystemtemperatur	35 / 28 °C (Fussboden)
Heizleistung der Wärmepumpe bei B0W35	12.8 kW
Kälteleistung der Wärmepumpe bei B0W35	9.72 kW
COP Wärmepumpe	4.16
Durchflussmenge Wärmequelle	2'250 l/h (30 % Ethylenglykol, t = 4K)
Widerstand der Wärmepumpe	25 kPa
Widerstand des Verteilers mit Zuleitung	7.5 kPa

Die möglichen Varianten werden nun anhand der Diagramme (siehe ab S. 12) bestimmt:

Variante 1:

Anzahl Erdwärmesonden	1
Erforderliche Entzugsleistung pro Erdwärmesonde	9.72 kW
Sondenlänge bei 50 W/m nominal	170 m (nach Diagramm 167 m)
Durchfluss pro Erdwärmesonde	2'250 l/h
Erdwärmesondendimension	32 mm Doppel-U
Widerstand der Erdwärmesonden	170 x 542 Pa = 92.2 kPa (turbulente Strömung)
Erdwärmesondendimension	40 mm Doppel-U
Widerstand der Erdwärmesonden	170 x 113 Pa = 19.2 kPa (laminare Strömung)

Variante 2:

Wie Variante 1, jedoch 2 Erdwärmesonden

Anzahl Erdwärmesonden	2
Erforderliche Leistung pro Erdwärmesonde	4.86 kW
Sondenlänge bei 50 W/m nominal	2 x 95 m (nach Diagramm 2 x 93 m)
Durchfluss pro Erdwärmesonde	1'125 l/h
Erdwärmesondendimension	32 mm Doppel-U
Widerstand der Erdwärmesonden	95 x 140 Pa = 13.3 kPa (laminare Strömung)

Zusammenstellung der Ergebnisse

Variante / Sondendurchmesser	1 / 32 mm	1 / 40 mm	2 / 32 mm
Druckverluste [kPa]			
- Wärmepumpe (Verdampfer)	25.0	25.0	25.0
- Solekreislauf	7.5	7.5	7.5
- Erdwärmesonde	92.2	19.2	13.3
Total [kPa]	124.7	51.7	45.8
Aufnahmeleistung [W] der Wärmequellenförderpumpe mit $\eta = 0.25$	324	134	119

Einfluss auf die Leistungszahlen der Wärmepumpenheizungsanlage

Variante / Sondendurchmesser	1 / 32 mm	1 / 40 mm	2 / 32 mm
Aufnahmeleistung der Wärmepumpe [W]	3'055	3'055	3'055
Umwälzpumpe Heizung [W]	80	80	80
Aufnahmeleistung der Wärmequellenförderpumpe [W]	324	134	119
Total elektrische Aufnahme [W]	3'459	3'269	3'254
WPHA-COP B0W35	3.69	3.91	3.93

10. Ausführungshinweise

Erdwärmesonden

- Bewilligung abklären und einholen
- Platzverhältnisse und Zugänglichkeit abklären
- Bestehende Werkleitungen beachten
- Bohrpositionen ausmessen und markieren sowie in Bauplänen dokumentieren
- Je nach Bohrbewilligung geologisches Gutachten einholen oder veranlassen
- Wasser- und eventuell Elektroanschluss erstellen
- Abfuhr Bohrschlamm organisieren
- Arteserdeckung (Versicherung) abklären

Wärmedämmung

- Alle Leitungen, Pumpen und Hahnen dampfdiffusionsdicht mit Kälte­dämmung versehen.
- Bei kühlen und trockenen Aufstellungsorten kann bei Verwendung von Soleleitungen aus Vollkunststoff auf eine Kälte­dämmung gegebenenfalls verzichtet werden.

Sonstige Leistungen

- Koordination und Ausführung der Leitungsgräben, Mauerdurchbrüche und Verteiler­schächte
- Mauerdurchbrüche nach den Montagearbeiten abdichten oder spezielle Mauerdurchführungen verwenden
- Zuschüttung der Gräben

Verbindungsleitungen und Verteiler

- Möglichst kurze Leitungsdistanz wählen
- Graben für Verbindungsleitungen auf Frosttiefe, möglichst mit leichtem Gefälle zur Erdwärmesonde ausheben
- Grabensohle wasserdurchlässig ausführen; mit Sand belegen, evtl. entwässern
- Verbindungsrohre in Sandschicht einbetten (Beschädigungsgefahr)
- Überdeckung erst nach Druckprobe vornehmen
- Füllen der Anlage gemäss *Technischem Merkblatt AWP*

Aussenmontage

- Zugänglichkeit des Verteilers gewährleisten
- Mauerdurchbrüche und Wärmedämmungen gegen Wasser abdichten

Innenmontage

- Evtl. Tropfschalen montieren
- Körperschallübertragung vermeiden

Leistung zu Durchfluss bei 30% Ethylenglykol

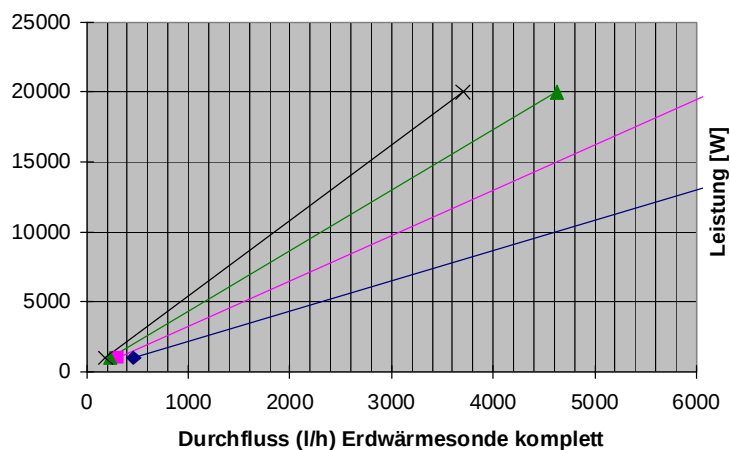


Abb. 3

Druckverlust zu Durchfluss (30% Ethylenglykol)

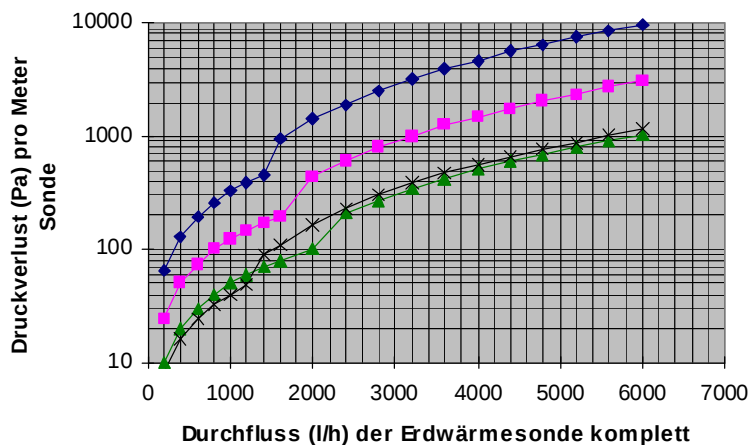


Abb. 4

11. Prinzipschema

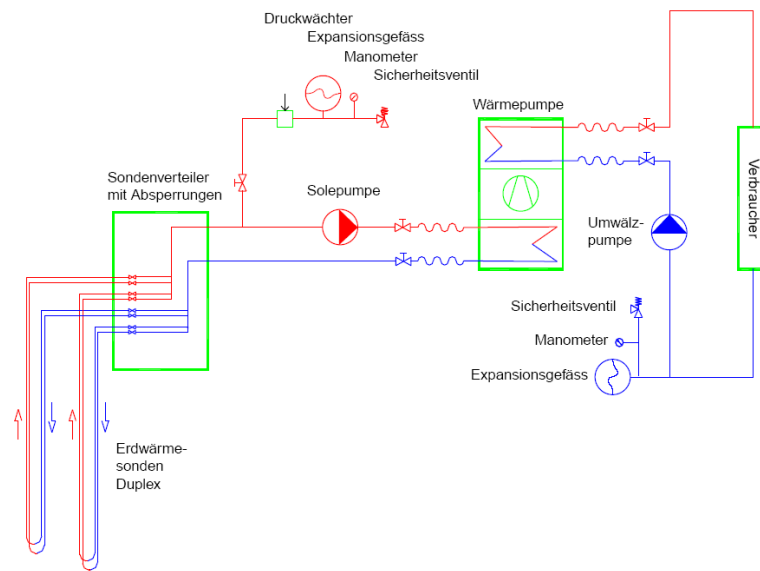


Abb. 5

12. Auslegungsdiagramme (Anhang)

Erdwärmesondenleistung bei $T_m = -1.5\text{ °C}$

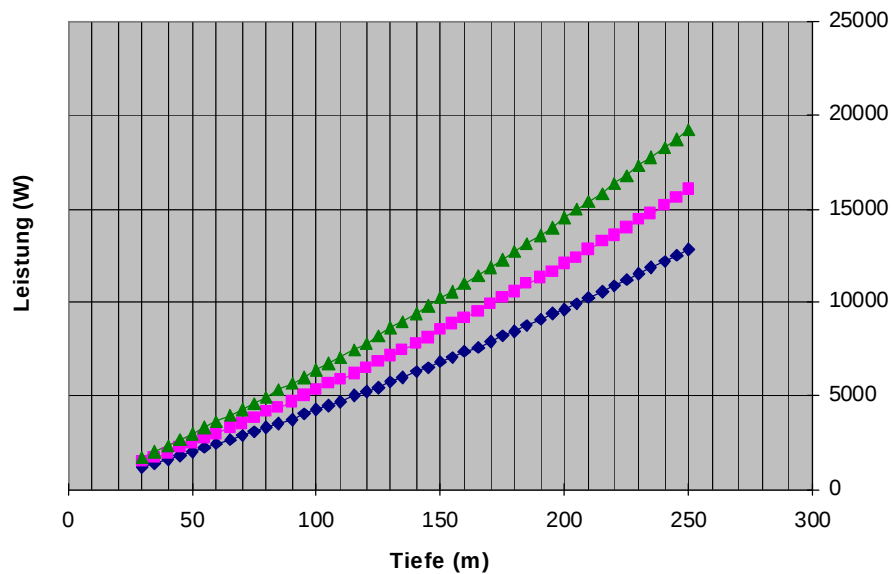


Abb. 6

Gültigkeitsbereich der Diagramme

- Monovalente Anlagen bis ca. 1'800 Betriebsstunden pro Jahr
- Nicht mehr als drei Erdwärmesonden
- Abstand mindestens 5 m oder 5% der Tiefe, d.h. bei $2 \times 140\text{ m} = 140 \times 5\% \times 7\text{ m}$
- Laminare Strömung hat eine Leistungseinbusse von ca. 10% zur Folge, die durch Mehr-Meter zu kompensieren ist.

Anwendung

- 1) Kälteleistung gemäss Datenblatt des Herstellers bestimmen.
- 2) Die Kälteleistung auf eine oder mehrere Erdwärmesonden aufteilen. Bei mehr als drei Erdwärmesonden sind die Diagramme durch Simulationsprogramme zu ersetzen.
- 3) Nominale Entzugsleistung des Untergrundes bestimmen (Standard: 50 W/m).
- 4) Von der Leistungsachse eine horizontale Linie links zu der Leistungskurve ziehen. Der Schnittpunkt ergibt auf der Tiefenachse die notwendige Tiefe.
- 5) Von der Leistungsachse eine horizontale Linie nach rechts ziehen, bis sie die entsprechende Kurve mit der gewünschten Temperaturdifferenz Soleein- zu -austritt trifft. Von dort die Linie nach unten bis zur gewünschten Sondendimension weiterziehen. Auf der Abszisse kann der Durchfluss für die Sonde (beide Kreise bei einer Doppel-U-Sonde) abgelesen werden.
- 6) Den Schnittpunkt mit der Sondendimension nach links verlängern, um den Druckverlust pro m Sonde abzulesen. Diese Zahl mit der Tiefe der Sonde multiplizieren, um den Druckverlust der gesamten Sonde zu erhalten.

Beispiel

- 1) Kälteleistung 7 kW
- 2) Eine Sonde wird gewählt.
- 3) Der Untergrund eignet sich für 50 W/m (Molasse).
- 4) Horizontale Linie bei 7'000 W Leistung ziehen. Der Schnittpunkt mit der 50 W/m Linie ergibt eine notwendige Tiefe von 125 m.
- 5) Für die Wärmepumpe legen wir eine Temperaturdifferenz von 3 K fest (Ein-/Austritt Sole). Der Schnittpunkt mit der $dT = 3^{\circ}\text{C}$ Linie ergibt auf der Abszisse einen Durchfluss von 2'160 l/h. Wir verlängern diese Linie zum Druckverlustdiagramm bis zur 32 mm Doppel-U-Sonde.
- 6) Den Schnittpunkt nach links verlängern. Wir lesen einen Druckverlust von 505 Pa ab. Diesen Wert müssen wir mit der Tiefe der Sonde multiplizieren, um den gesamten Druckverlust zu erhalten ($505 \times 125 = 63.1 \text{ kPa}$).