

## Wärmepumpenheizungsanlagen mit Erdwärmesonden

### INHALT

1. Einführung
  - 1.1 Wärmefluss
  - 1.2 Vergleich von Einflussfaktoren
  - 1.3 Belastungsdauer (Betriebsstunden der Wärmepumpe)
  - 1.5 Sammler und Verteiler
2. Erdwärmesonden
  - 2.1 Bauarten
  - 2.2 Sondenwerkstoffe
  - 2.3 Tiefenbohrung und Einbau
  - 2.4 Einfluss von Tiefe und Durchmesser
3. Wärmeträgermedium
  - 3.1 Wahl des Wärmeträgermediums
  - 3.2 Konzentration und Stoffwerte
  - 3.3 Strömungsgeschwindigkeiten
  - 3.4 Überwachung
4. Entzugsleistungen
  - 4.1 Maximale Entzugsleistungen
  - 4.2 Dimensionierung
5. Auswahl und Dimensionierung
  - 5.1 Dimensionierung der Anlageteile
  - 5.2 Bestimmung der Wärmepumpen-Heizleistung
  - 5.3 Maximale Betriebsdauer der Erdwärmesondenanlage
  - 5.4 Wärmequellenförderpumpe
6. Betriebsweise der Anlage
  - 6.1 Monovalenter Betrieb
  - 6.2 Bivalenter Betrieb
7. Heizsystemtemperatur
8. Auslegungsbeispiel
9. Ausführungshinweise
10. Prinzipschema
11. Auslegungsdiagramme

# 1. EINFÜHRUNG

Das vorliegende Merkblatt mit Informationen über Wärmepumpenheizungsanlagen mit Erdwärmesonden, die sich auf den heutigen Stand der Technik entsprechen, will dem Planer helfen, insbesondere bei der Auslegung der Wärmequellenanlage mehr Transparenz zu verschaffen. Als Basis dienen die Praxiserfahrungen der AWP-Firmen, die Messresultate von Pilotanlagen sowie die Ergebnisse der Untersuchungen/Simulationen durch die Firma Polydynamics Ltd. (Zürich), die Universitäten Giessen (Justus-Liebig) in Deutschland und Lund in Schweden, sowie die im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft gemachten Untersuchungen am Institut für Geophysik der ETH, Zürich.

## 1.1 WÄRMEFLUSS

Als Erdwärme wird diejenige Wärme bezeichnet, die aus dem Erdinnern durch die **ERDKRUSTE** zur Erdoberfläche fließt. Die Erdkruste ist unter den Kontinenten 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 m<sup>2</sup>**. Aus der **TIEFE** fließt also ständig eine

**spezifische Wärmeleistung von 0.063 bis 0.100 Watt pro m<sup>2</sup>**

Ca. **50 %** dieser Wärme, so nimmt man an, stammen allerdings nicht aus dem Erdkern, sondern werden durch radioaktiven Zerfall (Uran, Thorium, Kalium) verursacht. Durch die oben beschriebene Abstrahlung kühlt sich die Erde langsam ab. Allerdings dauert es Milliarden von Jahren. Diese Wärmeenergie kann deshalb nach menschlichen Begriffen als erneuerbar und unerschöpflich betrachtet werden.

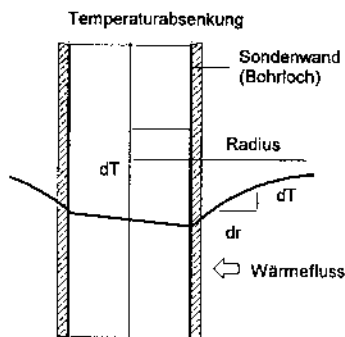
Mit der **ERDWÄRMESONDE** wird dieser Wärmestrom als Wärmequelle genutzt, wobei die niedrige Wärmeleistung **entsprechend** berücksichtigt werden muss. Zu hohe Entnahmeleistungen und stetiger Betrieb verursachen eine praktisch **irreversible** Veränderung der Erdwärmesondenumgebung.

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 Entnahme bedeutet steileren Trichterverlauf und tiefere Sondentemperatur (Zwischenkreistemperatur der Wärmequellen). Um eine gute Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage zu erreichen, muss eine möglichst **hohe Wärmequellentemperatur** angestrebt werden.

**Dies ist nur durch weniger Wärmeentzug pro Meter Sondenlänge möglich,**

da die Wärmeleitfähigkeit, die Temperatur des Erdreichs und der Sondendurchmesser gegeben sind.

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



$$\xi \quad M \quad 2 \pi r \quad O \quad \frac{dT}{dr}$$

$O$  Wärmeleitfähigkeit

Abb. 1 Wärmefluss zu einer Erdwärmesonde

## 1.2 VERGLEICH VON EINFLUSSFAKTOREN

Mit dem Programm EED (Earth Energy Designer der Universität Lund in Schweden) sind als Beispiel verschiedene Einsatzfaktoren miteinander verglichen worden, wie sie bei einem EFH im Mittelland der Schweiz vorkommen.

### Randbedingungen

- ξ EFH mit 9,7 kW Heizbedarf
- ξ WP mit COP von 3.8 (S0W35)
- ξ Ohne Warmwasseraufbereitung
- ξ Betriebsstunden WP pro Jahr 1800 h (typisches Belastungsprofil eines EFH)
- ξ Spitzenspernung 2 h (max. Betriebsdauer im Januar 22 h/Tag)
- ξ Erdwärmesondenauslegung: + 2°C / -2°C, Strömung immer turbulent mit 25% Ethylenglykol
- ξ Injektion mit Bentonit-Zement-Suspension

### Resultate

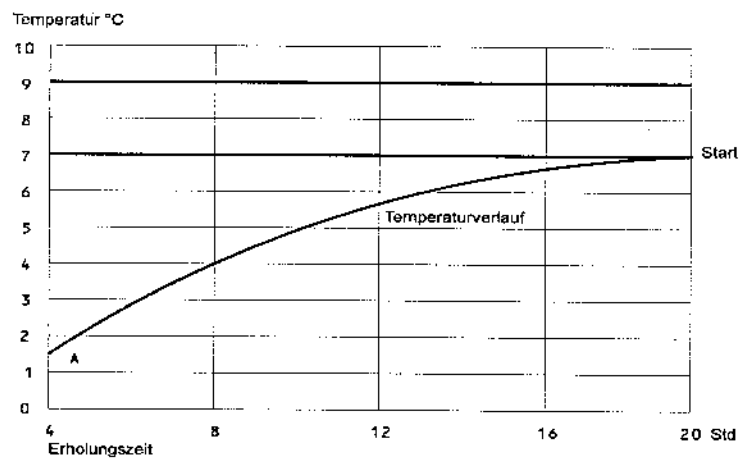
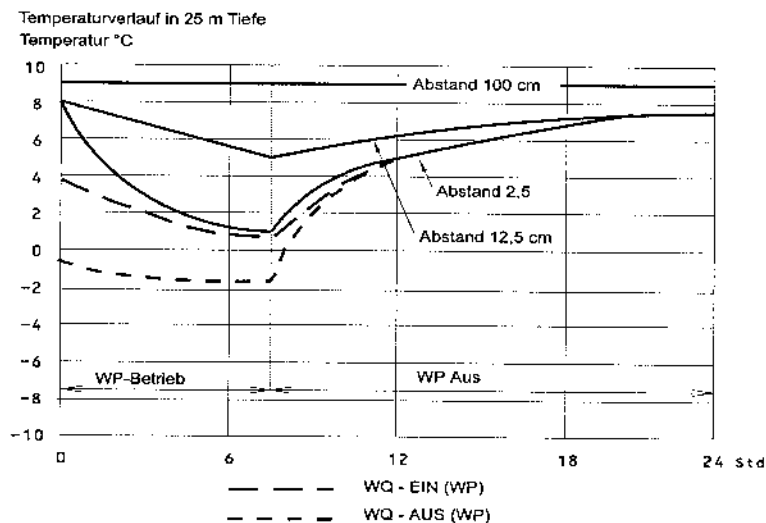
Fall	Untergrund	Sondentyp	Anzahl und Länge	W/m <sup>2</sup> )	T <sub>m</sub> Min. <sup>1)</sup>
a	Sandstein (2.3 W/mK)	U-Rohr 32 mm	1 x 138 m	52	3.9
b	Sandstein (2.3 W/mK)	Koaxial 90 mm <sup>3)</sup>	1 x 153 m	47	4.3
c	Sandstein (2.3 W/mK)	U-Rohr 32 mm	2 x 80 m s = 5 m	45	3.1
d	Sandstein (2.3 W/mK)	Koaxial 90 mm	2 x 89 m s = 5 m	40	3.5
e	Nagelfluh (2.8 W/mK)	U-Rohr 32 mm	1 x 127 m	56	3.9
f	Nagelfluh (2.8 W/mK)	Koaxial 90 mm	1 x 143 m	50	4.3

- 1) Tiefste mittlere Temperatur der Erdwärmesonden Ende Januar (über einen Tag gemittelt)  
( $t_m = [T_{B \text{ EIN}} + T_{B \text{ AUS}}] / 2$ )
- 2) Spitzenleistung im Auslegepunkt
- 3) Vorallem bei koaxialen Erdwärmesonden ist darauf zu achten, dass genügend Durchfluss vorhanden ist, um eine turbulente Strömung zu gewährleisten. Wird sie laminar, so fällt die Soletemperatur bei langen Laufzeiten ab. Die etwas schlechteren Werte für koaxiale Sonden, sind bei Vollastbetrieb auf die relativ grossen Wandstärken (8.2 mm) zurückzuführen. In der Praxis werden sie gleich ausgelegt, da die Koaxialsonden gegenüber den Doppel-U-Sonden ein etwas besseres Teillastverhalten haben.

**FAZIT:** 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 untiefe Erdwärmesonden bei gleicher Totallänge.

### 1.3 BELASTUNGSDAUER (BETRIEBSSTUNDEN DER WÄRMEPUMPE)

Bei Betriebsunterbrüchen erholt sich in der Sondenumgebung das Erdreich thermisch (Ein-/Aus-Betrieb der WP). 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. Zufolge des drastischen "Temperatursturzes" in der Umgebung der Erdsonde und der fehlenden thermischen Erholung resultiert nicht nur eine niedrige Leistungszahl für die Wärmepumpe, sondern es besteht auch eine **PERMAFROST-GEFAHR**. Vorallem bei tonhaltigen Untergründen kann dies über die Jahre zu einer empfindlichen Verringerung des Wärmeflusses führen, bis die Anlage nicht mehr funktions-tüchtig ist.



## 2. ERDWÄRMESONDEN

### 2.1 BAUARTEN

In der Schweiz werden zur Hauptsache U-Rohr- oder Koaxial-Sonden verwendet. Bei diesen beiden Bauarten werden in der Praxis leistungsmässig keine nennenswerten Unterschiede festgestellt.

## 2.2 SONDENWERKSTOFFE

In der Regel wird Polyethylen (vorwiegend MDPE) als bewährter Werkstoff eingesetzt. Die Rohre müssen den auftretenden Systemdrücken (Differenz zwischen Innen- und Aussendruck der Erdwärmesonden) standhalten, korrosionsbeständig sein und gute Schweisseigenschaften aufweisen. Bei einer korrekten Bentonit-Zement-Injektion heben sich nach heutigen Erkenntnissen Innen- und Aussendruck annähernd auf.

## 2.3 TIEFENBOHRUNG UND EINBAU

Die Bohrungen werden im Bereich von 50 bis 250 m Tiefe mit einem Durchmesser von ca. 115 mm bis 172 mm ausgeführt. Einzelne Anlagen haben auch schon die 300 m Grenze überschritten. Die eingebauten Sondenrohre müssen mit der Bohrwand in gutem, wärmeleitfähigem Kontakt stehen (siehe Wegleitung für die Wärmenutzung mit geschlossenen Erdwärmesonden des BUWAL 1994). Eine homogene Hohlraumfüllung kann nur mit einer **Fülltechnik von unten nach oben** erreicht werden. Eine Schüttung von oben erzeugt immer Hohlräume. Obwohl mehrere 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.

## 2.4 EINFLUSS VON TIEFE UND DURCHMESSER

Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) hat das Institut für Geophysik der ETHZ an in Betrieb stehenden Anlagen Messungen und Auswertungen durchgeführt. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse wurde ein Computermodell zur numerischen Simulation von Erdwärmesonden mit dem Namen "NUSOND" entwickelt. NUSOND berechnet dreidimensionale Wärmeleitung und ermöglicht die Modellierung von verschiedenen Sondengeometrien. Auch von anderen Instituten wurden ähnliche Programme entwickelt (z.B. EED der Universitäten Lund und Giessen). Als Zusammenfassung dieser Modellrechnungen können folgende Aussagen gemacht werden:

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 gesucht werden (Anzahl Sonden, Wärmequellentemperatur, Leistungszahl der Wärmepumpe, Wirkungsgrad der Solepumpe). Weiter zeigen die oben erwähnten Untersuchungen, dass die Vergrößerung des Bohrdurchmessers inkl. die vergrösserte aktive Erdwärmesondenoberfläche die spezifische Entzugsleistung bei gleicher Sondentiefe erhöht. Aufgrund der üblichen Bohrverfahren sind grössere Durchmesser jedoch nicht wirtschaftlich.

# 3. WÄRMETRÄGERMEDIUM

## 3.1 WAHL DES WÄRMETRÄGERMEDIUMS

Als Wärmeträgermedium dürfen nur Produkte gemäss Liste in der "Wegleitung zur Wärmenutzung aus Wasser und Boden" vom Bundesamt (BUWAL), Artikel 22, Absatz 2, VWF, verwendet werden. Darüber hinaus sind weitere wichtige Kriterien zu beachten:

- ξ Herstellerangaben (Wärmepumpen-, Wärmeträger- sowie übrige Anlagekomponenten).
- ξ Die Stoffwerteigenschaften beeinflussen die Wärmeübertragung und damit die Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage

- ξ Die Viskosität beeinflusst in hohem Masse den Systemwiderstand und dadurch die Aufnahmeleistung der Förderpumpe (siehe AWP-Richtlinie Nr. 9)
- ξ Das gewählte Wärmeträgermedium muss über eine lange Betriebszeit alterungsbeständig und frei von Korrosionseinflüssen gegenüber den verschiedenen Werkstoffen innerhalb des Systems sein (stabiles Langzeitverhalten).

### 3.2. 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 tiefst möglichen Verdampfungstemperatur der Wärmepumpe ausgelegt werden, wobei zusätzlich die Herstellerangaben der Wärmeträgermediumlieferanten in bezug auf die minimale Konzentration zu beachten sind (siehe WP-Richtlinie Nr. 9, Punkt 3.3.1, S. 15 ff).

### 3.3. STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN

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

### 3.4. UEBERWACHUNG

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.

## 4. ENTZUGSLEISTUNGEN

### 4.1 MAXIMALE ENTZUGSLEISTUNGEN

Als mittlere spezifische Entzugsleistung der Erdwärmesonde sollen

<b>50 - 55 W/m</b>
--------------------

nicht überschritten werden. Die im ersten Kapitel erwähnten Messungen zeigen folgende Abweichungen:

- ξ Grundwasserführende Erdschichten (bei O-Wert > 3 W/mK): - bis 80 W/m (in Ausnahmefällen wurden auch schon Werte über 100 W/m gemessen)
- ξ Fels und feuchter Boden (bei O-Wert > 2 W/mK): - 50 - 55 W/m
- ξ Trockener Boden (bei O-Wert < 1.5 W/mK): - bis max. 30 W/m
- ξ Anlagen mit 3 und mehreren Erdwärmesonden haben zufolge der gegenseitigen Beeinflussung eine geringere Entzugsleistung
- ξ Bivalente oder andere Anlagen mit hohen Jahreslaufzeiten (> 2000h) haben eine geringere Entzugsleistung
- ξ Bergregionen haben tiefere Bodentemperaturen und somit geringere Entzugsleistungen (z.B. 40W)

## 4.2 DIMENSIONIERUNG

Aufgrund der Tarifpolitik der Elektrizitätswerke (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 Jahresvorlauf-temperatur benötigte Kälteleistung (z.B. B0W35 bei einer Fussbodenheizung) dient als Basis für die Erdwärmesondenauslegung.

Die gewählte Dimensionierungsart basiert auf einer totalen Betriebszeit der Wärmepumpe von ca. 1800 Stunden pro Jahr. Diese Betriebsstundenzahl ergibt sich aus dem Koeffizienten vom 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.

## 5. AUSWAHL UND DIMENSIONIERUNG

### 5.1 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-Seite und WN-Seite mit der Wärmepumpe als Wärmetransportmaschine sehr eng verkoppelt sind. Als Hilfsmittel für die Dimensionierung können die Diagramme im Anhang hinzugezogen werden. Auf diesen Diagrammen wird der Zusammenhang zwischen der Leistung (über die Tiefe integriert), dem Förderstrom der Solepumpe und dem Druckverlust der verschiedenen Sondentypen dargestellt.

### 5.2. BESTIMMUNG DER WÄRMEPUMPEN-HEIZLEISTUNG

Die Heizleistung der Wärmepumpe sollte grösser sein als 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 Bentonit-Zementinjektion teilweise umgewandelt, was zu Schrumpfungen und Setzungen führen kann.

Wird die Wärmepumpe nicht nur für die Wohnraumheizung benutzt, so müssen die erforderlichen Mehrbetriebsstunden bei der Auslegung der Erdwärmesondenlänge entsprechend berücksichtigt werden (Simulationsprogramme). Heizleistungsreduktionen mit "Gleichzeitigkeit-Faktor" sind zu vermeiden. Die Lade- und Entladezeiten der Anlagen mit Wärmespeicher und die Sperrzeiten der Elektrizitätswerke müssen so abgestimmt werden, dass eine genügende Erholungszeit für die Erdwärmesondenanlage gewährleistet ist. Eine Vereisung des Sondenumfeldes muss unbedingt vermieden werden.

### 5.3. MAXIMALE BETRIEBSDAUER DER ERDWÄRMESONDENANLAGE

Die unter 4.1 aufgeführten spezifischen Entzugsleistungen 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 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. Dabei darf bei tonig-bindigen Böden die Ladetemperatur 20 °C nicht überschreiten.

#### **5.4. 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. Dazu kommt, dass die Jahresarbeitszahl der Anlage zufolge hohem prozentualen Anteil 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 anlagenbezogen 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.

### **6. BETRIEBSWEISE DER ANLAGE**

#### **6.1. MONOVALENTER BETRIEB**

Die unter Kapitel 4.1 aufgeführten spezifischen Entzugsleistungen beziehen sich auf einen monovalenten Betrieb. Die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen bestätigen deren Richtigkeit. Es handelt sich demnach um die sinnvollste Betriebsweise.

#### **6.2. 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 einem möglichen jährlichen Energieentzug von 130 kWh/m bei Anlagen mit 1- oder 2- 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.

### **7. HEIZSYSTEMTEMPERATUR**

Wird im Interesse einer höheren Leistungszahl die Heizsystemtemperatur niedriger gewählt, was in bezug auf eine bessere Jahresarbeitszahl sehr empfehlenswert ist, so muss die Erdwärmesondenanlage entsprechend der höheren mittleren Kälteleistung der Wärmepumpe angepasst werden.

## 8. 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<sub>h</sub> = 10.7 kW bei t<sub>A</sub> = -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	2250 l/h (30% Ethylenglykol, Δt = 4K)
Widerstand der WP	25 kPa
Widerstand des Verteilers mit Zuleitung	7.5 kPa

Die möglichen Varianten werden nun anhand der Diagramme gemäss Anhang bestimmt:

### Variante 1

Anzahl Erdwärmesonden	1
Erforderliche Leistung pro Erdwärmesonde	9.72 kW
Sondenlänge bei 50 W/m nominal	170 m (nach Diagramm 167 m)
Durchfluss pro Erdwärmesonden	2250 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 Erdwärmesonden	1125 l/h
Erdwärmesondendimension	32 mm Doppel-U
Widerstand der Erdwärmesonden	95 x 140 Pa = 13.3 kPa (laminare Strömung)
Erdwärmesondendimension	25 mm Doppel-U
Widerstand der Erdwärmesonden	95 x 354 Pa = 33.6 kPa (laminare Strömung)

### Zusammenstellung der Ergebnisse

Variante / Sondendurchmesser	1 / 32 mm	1 / 40 mm	2 / 32 mm	2 / 25 mm
Widerstände [kPa]				
- Wärmepumpe (Verdampfer)	25.0	25.0	25.0	25.0
- Solekreislaufl	7.5	7.5	7.5	7.5
- Erdwärmesonde	92.2	19.2	13.3	33.6
Total [kPa]	124.7	51.7	45.8	66.1
Aufnahmeleistung [W] der Wärmequellenförderpumpe mit K=0.25	324	134	119	172

## Einfluss auf die Leistungszahlen der Wärmepumpenheizungsanlage

Variante / Sondendurchmesser	1 / 32 mm	1 / 40 mm	2 / 32 mm	2 / 25 mm
Aufnahmeleistung der WP [W]	3055	3055	3055	3055
Umwälzpumpe Heizung [W]	80	80	80	80
Aufnahmeleistung der Wärmequellenförderpumpe [W]	324	134	119	172
Total elektrische Aufnahme [W]	3459	3269	3254	3307
WPHA-COP B0W35	3.69	3.91	3.93	3.86

## 9. AUSFÜHRUNGSHINWEISE

### Erdwärmesonden

- § Bewilligung abklären und einholen
- § Platzverhältnisse und Zugänglichkeit abklären
- § Bestehende Werkleitungen beachten
- § Bohrpositionen ausmessen und markieren
- § Je nach Bohrbewilligung geologisches Gutachten einholen oder veranlassen
- § Wasser- und eventuell Elektroanschluss erstellen
- § Abfuhr Bohrschlamm organisieren
- § Haftpflichtversicherung (Arteserversicherung) abschliessen

### Warmedämmung

- § Alle Leitungen, Pumpen und Hähnen **dampfdiffusionsdicht** mit Kälte­dämmung versehen
- § Genügend Wandstärke vorsehen
- § Bei kühlen und trockenen Aufstellungsorten kann bei Verwendung von Vollkunststoff­soleitungen auf eine Kälte­dämmung verzichtet werden

### Sonstige Leistungen

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

### Verbindungsleitungen und Verteiler

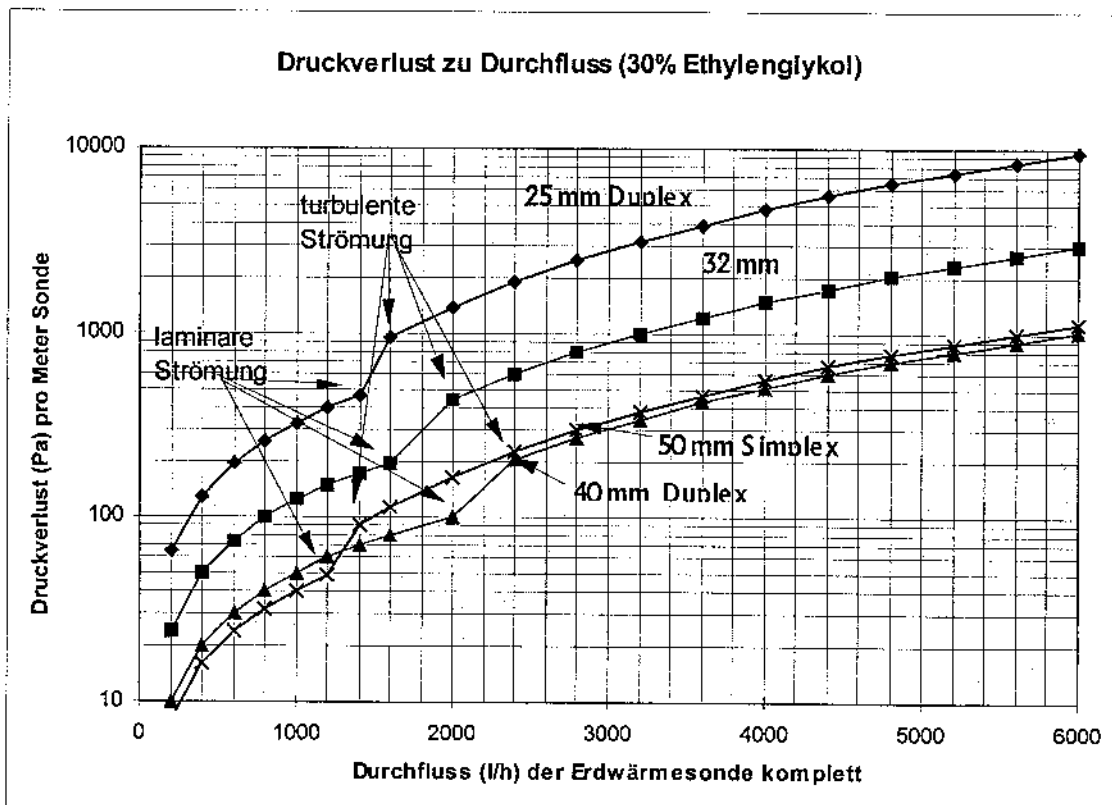
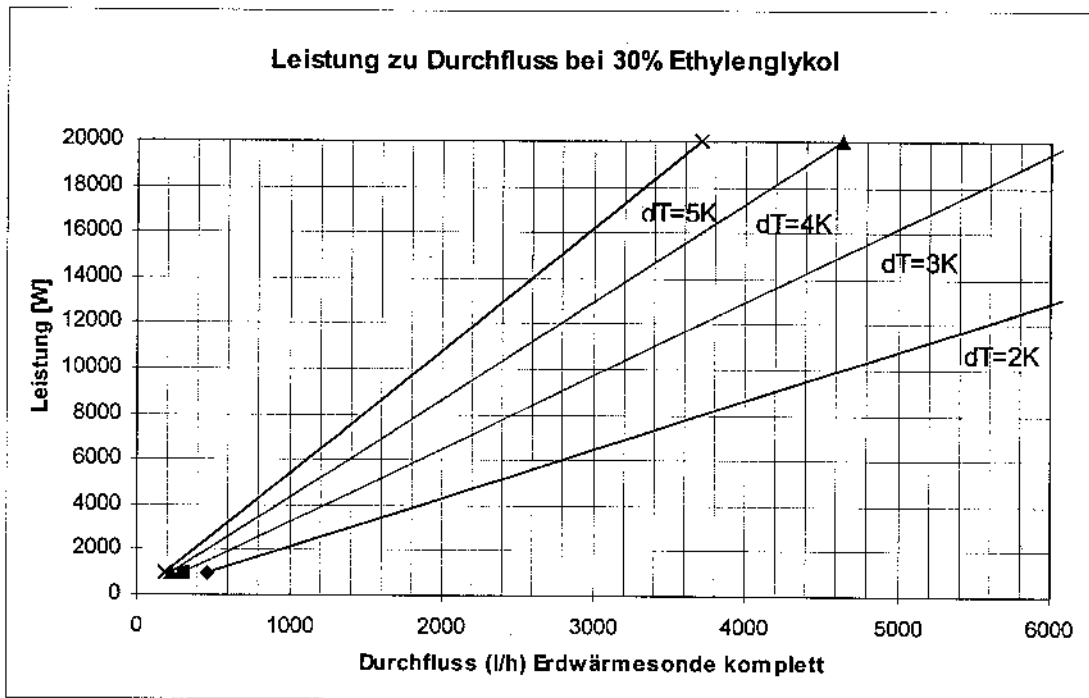
- § Möglichst kurze Leitungsdistanz wählen.
- § Graben für Verbindungsleitungen ca. 80 cm tief möglichst mit leichtem Gefälle zur Erdwärmesonde ausheben.
- § Grabensohle wasserdurchlässig; mit Sand belegen, evtl. entwässern
- § Verbindungsrohre in Sandschicht einbetten (Verletzungsgefahr).
- § **Überdeckung erst nach Druckprobe vornehmen**
- § Füllen der Anlage gemäss AWP-Merkblatt T5

### Aussenmontage

- § Zugänglichkeit des Verteilers gewährleisten.
- § Mauerdurchbrüche wärmedämmen und gegen Wasser abdichten (handelsübliche Stopfbüchsen)

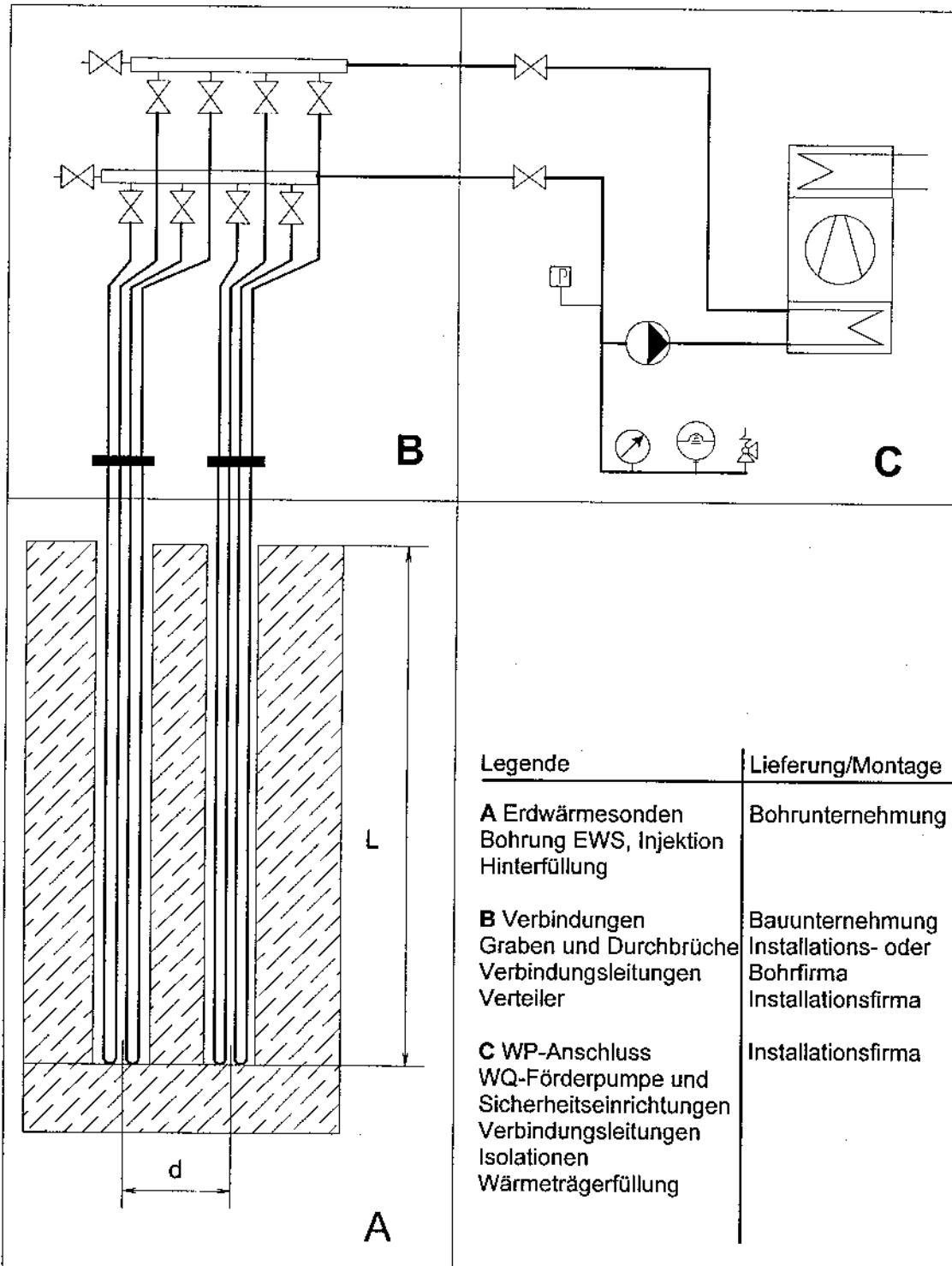
### Innenmontage

- § Ev. Tropfschalen montieren
- § Körperschallübertragung vermeiden

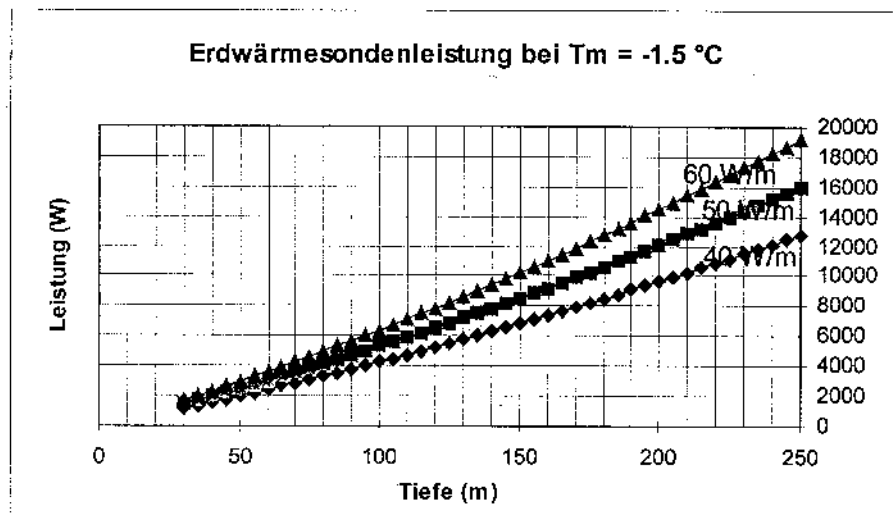


# 10. PRINZIPSCHEMA

## Erdwärmesondenanlage



## 11. AUSLEGUNGSDIAGRAMME



### 1. Gültigkeitsbereich der Diagramme:

- Monovalente Anlagen bis ca. 2000 Betriebsstunden pro Jahr
- Nicht mehr als drei Erdwärmesonden
- Abstand mindestens fünf Meter oder 5% der Tiefe d.h. bei  $2 \times 140 \text{ m} = 140 \times 5\% \approx 7 \text{ m}$
- Laminare Strömung hat eine Leistungseinbusse von ca. 10% zur Folge, die durch Mehr-Meter zu kompensieren ist.

### 2. Anwendung:

1. Kälteleistung gemäss AWP Richtlinien festlegen
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 Meter 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 7000 W Leistung ziehen. Der Schnittpunkt mit der 50 W/m Linie ergibt eine notwendig Tiefe von 125 Meter
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 2160 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 ( $505 \times 125 = 63.1 \text{ kPa}$ )