

Schlussbericht, 13. Juni 2018

# **Erläuterungen «Mustersubmission für die Installation von 2-10 Erd- wärmesonden am Beispiel einer Anlage mit 7 Erdwärmesonden»**



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

**Autoren**

Dr. Andreas Ebert, Geo Explorers AG

Christian Häring, Geo Explorers AG

**Experten**

Dr. Martin Bochud, GeoAzimut Sàrl

René Buchli, e-therm ag

Karl-Heinz Schädle, Schädle GmbH

Hansjakob Schächli, Progeo GmbH

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.**

**Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

**Adresse**

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern

Infoline 0848 444 444. [www.energieschweiz.ch/beratung](http://www.energieschweiz.ch/beratung)

[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Bauseitige Leistungen.....</b>	<b>7</b>
2.1	Dimensionierung der Erdwärmesonden.....	7
<b>3</b>	<b>Vorbereitende und begleitende Arbeiten.....</b>	<b>8</b>
3.1	Versicherung und Risiken .....	8
3.2	Begleitende optionale Leistungen .....	10
<b>4</b>	<b>Installation .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Bohrung und Einbau von Erdwärmesonden.....</b>	<b>12</b>
5.1	Bohrvorgang.....	12
5.2	Sondereinbau .....	14
5.3	Einbringen der Hinterfüllung .....	15
5.4	Qualitätsprüfungen .....	17
5.5	Einmessen der Sonde.....	19
<b>6</b>	<b>Entsorgen des Bohrgutes .....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Verbindungsleitung und Anschluss an den Verteiler .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Füllen des Erdwärmesondenkreislaufes mit Wärmeträgerflüssigkeit .....</b>	<b>23</b>

# 1 Einleitung

Die Mustersubmission mit Erläuterung für eine Erdwärmesondenanlage soll der Bauherrschaft die einzelnen Schritte beim Bau einer Erdwärmesondenanlage erklären und aufzeigen, was es bei der Erstellung zu beachten gilt. Die Mustersubmission kann als Vorlage für die Ausschreibung verwendet werden und nach Bedarf angepasst werden.

Die einzelnen Phasen und Arbeitsschritte der Erdwärmesonde lassen sich anhand folgender Grafik zusammenfassen:

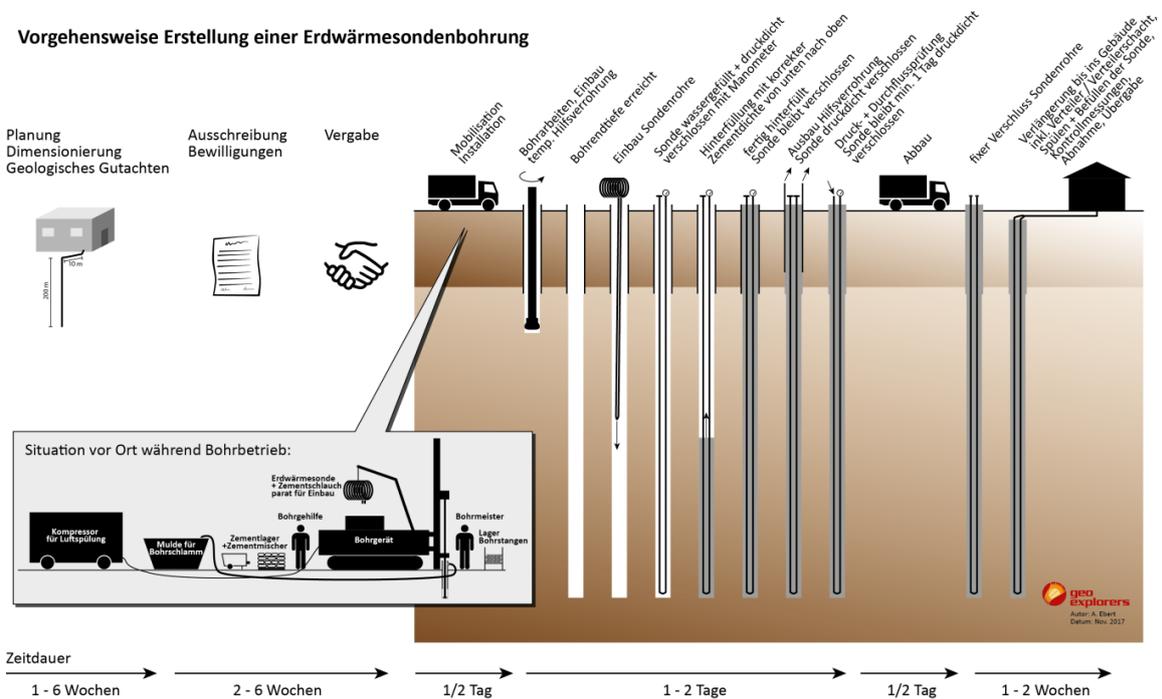


Abbildung 1 Arbeitsschritte bei einer Erdwärmesondenbohrung

Generell gilt es bei der Mustersubmission zwei Fälle zu beachten: einerseits das Bohren von **Erdwärmesonden bei einem Neubau**, andererseits das Bohren von **Erdwärmesonden bei Heizungsersatz**. Beim Heizungsersatz kann die Bohrfirma als Generalunternehmer auftreten und auch Dritteleistungen (wie Geologe, Pneukran, Mauerdurchführungen und teilweise auch Grabarbeiten) anbieten.

Beim Neubau können die oben genannten zusätzlichen Leistungen bei entsprechender Koordination meist durch die Firmen ausgeführt werden, welche bereits am Neubau tätig sind.



Abbildung 2 Erdsondenbohrung mit Bohranlage, Kompressor, Schlammmulden, Hinterfüllungsmaterial und Sonden

### Deklaration und gültige Normen

Oft wird zwischen Bohrfirma und Bauherrschaft kein Werkvertrag abgeschlossen, weshalb die Ausschreibung ein wichtiges vertragliches Element zwischen den beiden Parteien ist. Aus diesem Grund muss der Anbieter zunächst mit der Unterschrift bestätigen, dass er die nötigen Gesetze, insbesondere Umweltgesetze, kennt und einhält, sowie dass er die Sonden nach den SIA Normen 118 „Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten“ (u.a. Garantiefrist, verdeckte Mängel usw.), SIA 431 „Entwässerung von Baustellen“ und **SIA 384/6 „Erdwärmesonden“** einbaut. Die SIA 384/6 beschreibt die Ausführung der Erdwärmesonden im Detail. Des Weiteren muss der Anbieter bestätigen, dass er die Arbeiten selbst ausführt oder für den Subunternehmer garantiert.

Anschliessend muss der Anbieter deklarieren,

- ob die Firma das FWS Gütesiegel hat.
- ob die Firma einen Bau-Stromanschluss benötigt. Einzelne Bohrequisen sind autark und brauchen keine zusätzliche Energie, was für die Bauherrschaft eine Entlastung darstellen kann.
- dass der Anbieter nach Erhalt der Bewilligung allfällige Mehrkosten aufgrund kantonaler Auflagen der Bauherrschaft vor Bohrstart mitteilt. Das können z.B. Gewebestrümpfe oder permanente Verrohrungen zum Schutz von Grundwasser sein, Spülbohrverfahren oder Bohrlochverlaufsmessungen.

Es wird festgehalten, welche Dokumente nach Projektende abgegeben werden müssen. Dies beinhaltet das korrekt ausgefüllte Abnahmeprotokoll, die Qualitätsprüfungen (Druck- und Durchflussprüfung) und das Bohrprotokoll. Zudem müssen die Datenblätter der verbauten Materialien, d.h. von den Hinterfüllbaustoffen und von den Erdwärmesonden abgegeben werden, damit für die Bauherrschaft alles ausreichend dokumentiert ist.

Schon bei der Offerte soll der Anbieter ausweisen, welche Materialien verbaut werden. Einerseits dient dies zur Dokumentation, andererseits weil die Materialien der Situation (z.B. Bohrtiefe, Geologie) angepasst sein müssen und das Verwenden ungeeigneter Materialien zu Schäden an der Sonde führen kann. Beispielsweise kann bis rund 250 m eine PN16 Sonde eingebaut werden. Ab 250 m wird eine PN20 Sonde dringend empfohlen. Letzt genannte weist eine höhere Druckfestigkeit auf, ist jedoch etwas teurer.

## 2 Bauseitige Leistungen

### 2.1 Dimensionierung der Erdwärmesonden

Die Dimensionierung der Erdwärmesonden nach SIA 384/6 sollte bauseits durch einen Planer erfolgen. Die Berechnung der Bohrtiefe der Erdwärmesonden erfolgt in der Regel durch einen Heizungsplaner, Heizungsfachmann oder darauf spezialisierten Geologen, auf Basis des Wärmeverbrauchs<sup>1</sup>, der Wärmepumpe<sup>2</sup>, der Geologie<sup>3</sup> und der Sondengeometrie<sup>4</sup>. Bei einem Sondenfeld von 7 Sonden ist eine Simulation nach SIA 384/6 über 50 Jahre zwingend, da sich die Sonden gegenseitig thermisch beeinflussen. Diese thermische Beeinflussung kann nur mittels einer Simulation berücksichtigt werden.

Beim Standort sind die kantonal vorgegebenen Parzellengrenzabstände zu beachten, sowie die thermische Beeinflussung von Nachbarsonden. Es wird empfohlen den Bohrstandort so zu wählen, dass bestehende Erdwärmesonden auf Nachbargrundstücken, abhängig der Dichte umliegender Erdwärmesonden, ausreichend entfernt sind. Damit wäre die gegenseitige Beeinflussung auch langfristig gering. Die Bohrungen dürfen in den meisten Kantonen auch unter der Bodenplatte abgeteuft werden. Dabei ist speziell zu beachten, dass die Bohrungen und Zuleitungen unter der Bodenplatte während dem Bau nicht beschädigt werden. Einige Kantone verlangen als Auflage, dass die Bodenplatten am Ort der Durchführung der Erdwärmesonden gasdicht verschlossen werden.

Bei Angabe des Wärmepumpentyps in der Offertanfrage sollte die Bohrfirma nochmals einen Plausibilitätscheck bezüglich der ausreichenden Dimensionierung der Erdwärmesonden durchführen.

Falls ein geologischer Bericht vorliegt, kann die Bohrfirma die technische Umsetzbarkeit der Bohrung besser abschätzen. Dazu zählt z.B. die temporäre Verrohrungstiefe durch das Lockergestein, die Entsorgungsmenge des Bohrschlammes oder der Bohrfortschritt.

Ein Bohrgesuch mit Situationsplan der Bohrungen ist bei der Gemeinde oder dem Kanton einzureichen, um die Bohrbewilligung vor Bohrbeginn zu erhalten.

Während die Arteser- und Bohrabbruchsversicherungen via Bohrfirma abgeschlossen werden können, müssen Versicherungen wie die Bauherrenhaftpflicht und allenfalls die Bauwesenversicherung von der Bauherrschaft selbst abgeschlossen werden.

Viele Kantone unterstützen Sole-Wasser-Wärmepumpen beim Ersatz einer Öl-/Gasheizung oder elektrischen Heizung finanziell. Die Bauherrschaft muss sich um diese Förderbeiträge selbst

---

<sup>1</sup> Nutzwärmebedarf der Gebäude in kWh/a, Wärmeentzug aus Erdwärmesonde

<sup>2</sup> Leistung der Wärmepumpen in kW, minimaler Durchfluss im Verdampfer in kg/s

<sup>3</sup> Temperaturgradient und Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen geologischen Schichten

<sup>4</sup> Z.B. Doppel-U-Sonde (in der Schweiz am meisten verwendet)

kümmern. Weiterführende Information gibt es z.B. auf folgender Homepage:

[www.energiefranken.ch](http://www.energiefranken.ch)

Das Einmessen und die Markierung der Bohrpunkte sollten durch die Bauherrschaft oder den Bauleiter unter Einbezug des Leitungskatasters erfolgen. Die Bohrequipe hat keine Werkleitungspläne und kann mit den ihnen vorliegenden Plangrundlagen die Bohrstelle nur ungefähr einmessen. Bei Sanierungen passiert es immer wieder, dass Leitungen angebohrt werden. Zu den Gebäuden ist ein minimaler Abstand von 2 m einzuhalten, wobei der Dachüberstand zu beachten, resp. massgeblich ist.

Bei der Bohrung selbst wird Wasser beim Bohrvortrieb benötigt und auch für das Einbringen der Hinterfüllung wird ein Wasseranschluss benötigt. Meist reicht ein Aussenwasseranschluss. Ein Stromanschluss 400V/16A für den Injektionsmischer wird auch meist verlangt, sowie 220V für den Bauwagen.

Das Einholen der Bohrbewilligung, die geologischen Arbeiten und die Stromversorgung kann auch optional dem Bohrunternehmer beauftragt werden (siehe Punkt 2.2.).

## 3 Vorbereitende und begleitende Arbeiten

### 3.1 Versicherung und Risiken

Gemäss ZGB/OR und SIA-Normen haftet die Bauherrschaft für Baugrundrisiken. Es bestehen aber mehrere Möglichkeiten sich vor geologischen Risiken bei der Erdwärmesondenbohrung zu versichern. Mehrere Versicherungsgesellschaften bieten für Erdwärmesonden Versicherungslösungen an. Die genauen Versicherungsbedingungen müssen bei der jeweiligen Versicherungsgesellschaft angefragt werden. Einige Versicherungen wie z.B. die Arteserversicherung werden in der Regel über das Bohrunternehmen abgeschlossen. Die nachfolgenden Beschreibungen und Tabelle 1 sind rein informativ und beschränken sich auf die drei wichtigsten Versicherungslösungen:

Die **Bauherrenhaftpflicht** ist ebenfalls zu empfehlen. Bei Neubauten ist diese Versicherung in der Regel bereits abgeschlossen, bei Heizungssanierung sollte die Bauherrschaft den Abschluss dieser Versicherung zumindest in Betracht ziehen.

Die **Arteserversicherung** ist eine Standardversicherung, welche Folgekosten übernimmt, falls während des Bohrens ein unter Druck stehender Grundwasserleiter angebohrt wird oder ein Erdgasaustritt erfolgt. Der Abschluss einer Arteserversicherung wird immer empfohlen und in den meisten Fällen auch abgeschlossen. Während das Risiko des Anbohrens von kleinen Erdgasaschen gering ist, da die Risikogebiete grösstenteils bekannt und ausgeschieden sind, muss jedoch bei Artesern öfters interveniert werden. Arteser ist der Kurzbegriff für artesisch gespanntes Grundwasser, d.h. Grundwasser dessen Druckspiegel über der Oberfläche liegt und somit frei aus der Bohrung austreten kann. Diese Situation kann an Hang- oder in Tallagen eintreten und das austretende Wasser unterschiedliche Volumenraten einnehmen. Die Bohrfirma wird gängige Inter-

ventionsmassnahmen anwenden und den Wasseraustritt stoppen. Dabei entsteht ein Mehraufwand, gegen den sich die Bauherrschaft mit der Arteserversicherung versichern kann. Im Gegenzug muss der Bohrunternehmer aber fähig sein das anfallende Wasser per Sofortmassnahme abzuleiten und eine abdichtende Verschlusskappe mit Absperrhahn und Manometer auf die Verrohrung zu schrauben, die es ermöglicht die Bohrung einzuschliessen und den Wasserfluss zu stoppen. Der artesische Druck und die Durchflussmenge müssen bestimmt werden, damit die Massnahmen für die langfristige Sicherung der Bohrung geplant werden können. Bei einem Austritt von Gas oder Wasser ist die kantonale Gewässerschutzfachstelle zu informieren. Diese wird ebenfalls helfen, den Schaden zu begrenzen.

Die **Bohrabbruchversicherung** wird weniger häufig abgeschlossen. Sie ist vor allem in schwierigen geologischen Gebieten zu erwägen. Dies insbesondere, wenn in der direkten Umgebung Problemfälle bekannt sind. Nicht realisierbare EWS-Projekte sind allerdings selten.

Die Erdwärmesonden können auch während der Betriebsphase über mehrere Jahrzehnte mit einer **Erdwärmesondenversicherung** gegen Risiken versichert werden. Versichert sind Schäden aufgrund äusseren (z.B. Sturm, Tiere, geologische Veränderungen) und inneren Ursachen (z.B. Material- oder Konstruktionsfehler). Die Mehrkosten für ein Ersatzsystem sind versichert.

Tabelle 1 Versicherungsangebot Erdwärmesonden

Versicherung	Was ist in der Regel versichert	Was ist in der Regel nicht versichert	Bemerkung
<b>Bauherrenhaftpflicht</b>	Betrifft nur Schäden an Nachbargrundstücken und deren Gebäuden.  Risse, welche eine Sanierung aus statischen Gründen erforderlich machen (Bedingt aber vorgängig ein Rissprotokoll zu Lasten der Bauherrschaft)	Rissschäden aufgrund Änderungen der hydrogeologischen Verhältnisse, z.B. Setzung.	Bei Neubau ist die Versicherung in der Regel vorhanden, bei Heizungsanierung nicht automatisch!
<b>Arteserversicherung</b> bei Wasser- oder Gasaustritt aus der Bohrung	Bauherrschaft mit Grundstück und eigenen Bauten, Bohrkosten bei Abbruch, Abdichtungskosten an der Bohrung, Stillstandzeiten Bohrmaschine, Expertenkosten	Nachbargrundstück mit Gebäude, Verluste und Zurücklassen der Ausrüstung im Bohrloch	Standardversicherung bei EWS-Bohrungen, kann über Bohrfirma abgeschlossen werden, wird immer empfohlen
<b>Bohrabbruchversicherung</b>	Versichert ist der Bohrabbruch als Folge der geologischen/hydrogeologischen Bedingungen am Versicherungsort, die trotz Ausschöpfung der aktuellen technischen Möglichkeiten der Bohrtechnik, ein Erreichen der notwendigen thermischen Energieleistung mittels Erdwärmesonden verunmöglichlichen.  Versichert ist der Bohrabbruch als Folge einer behördlichen Anweisung oder auf Anweisung des zuständigen Geologen.	Kosten als Folge der Mehraufteilung der totalen Bohrmeter  Betriebliche Mehrkosten alternatives Heizsystem  Abbruch aufgrund von an diesem Standort nicht geeignetem Bohrverfahren	Die Bohrabbruchversicherung kommt nur zum Tragen, wenn das Heizsystem mit EWS nicht möglich ist. Wenn nun mehr Sonden, dafür weniger tiefe Sonden realisiert werden können, kommt die Versicherung nicht zum Tragen.

Versicherung	Was ist in der Regel versichert	Was ist in der Regel nicht versichert	Bemerkung
	Differenzbetrag zu alternativem Heizsystem Kosten der aufgegeben Bohrung Expertenkosten		
<b>Erdwärmesondenversicherung</b>	Versichert die EWS im Betrieb über Jahre, resp. Jahrzehnte gegen Risiken ab, welche plötzlich und unvorhergesehen auftreten (Elementarereignisse, Tiere, geologische Veränderungen). Versichert sind die Kosten für die Wiederherstellung in den Zustand vor dem Schadensfall	Nicht versichert, wenn die Planung und Ausführung nicht nach SIA 384/6 erfolgte oder wenn keine visierten Druck- und Durchflussprüfungen vorliegen.	Muss vor Bohrbeginn abgeschlossen werden

### 3.2 Begleitende optionale Leistungen

Die Bohrfirma kann optional beauftragt werden, die Bohrbewilligung für die Bauherrschaft zu beantragen. Es müssen ein Situationsplan und die Koordinaten des Bohrstandorts mitgeliefert werden. Bei der Wahl des Bohrstandorts sind die Grenzabstände zur Parzellengrenze, die Baulinien, das Leitungskataster, sowie ein Abstand zum Gebäude von mind. 2 m zu beachten.

In einigen Kantonen (z.B. AG, GR) ist eine Auflage der Bohrbewilligung, dass der Bohrlochverlauf der Bohrung vermessen wird. Oft wird diese Leistung direkt vom Bohrunternehmer vergeben und organisiert.

Das geologische Gutachten, die geologische Begleitung der Bohrung und die Aufnahme eines Bohrprofils sind immer dann erforderlich, wenn kritische Schichten nicht angebohrt werden dürfen. Das sind z.B. Schichten mit nutzbarem Grundwasser oder solche mit quellfähigen Mineralien (z.B. Anhydrit). In einigen Kantonen müssen die Bohrungen per Auflage immer geologisch begleitet werden.

Die meisten Bohrfirmen verfügen über eigene Stromgeneratoren, falls an der Bohrstelle kein Stromanschluss 400V/16A verfügbar ist. Diese können zu Tagessätzen dazu gemietet werden.

## 4 Installation

Vor Antransport der Bohrausrüstung wird die Bohrstelle vom Bauführer der Bohrfirma besichtigt, um die Zufahrts- und Platzverhältnisse zu prüfen. Wird eine zusätzliche Planie oder Zufahrtsrampe benötigt, hat die Bauherrschaft in der Regel einen entsprechenden Tiefbauer aufzubieten. Falls ein Pneukran benötigt wird, um das Bohrgerät zu platzieren, organisiert dies die Bohrfirma. Da die Kosten je nach Situation stark variieren, ist es wichtig, dass diese situativ und vor der Arbeitsvergabe geklärt und bestimmt werden.

Der An- und Abtransport und die Installation der Bohreinrichtung umfassen in der Regel das Bohrgerät, den Kompressor, die Schlammmulden, die Bohrgestänge sowie Schläuche, Injektionsmischer, Mannschaftswagen und LKW. Der Platzbedarf beträgt im Minimum 60 m<sup>2</sup>.

Eventuell sind Abdeckerarbeiten (z.B. Gebäudefassade) nötig, welche zusätzlich verrechnet werden. Das Umsetzen des Bohrgeräts zum jeweilig nächsten Bohrpunkt wird teilweise ebenfalls zusätzlich verrechnet und sollte daher für alle weiteren Bohrungen (ausser der ersten Bohrung) in der Offerte ausgewiesen werden.



Abbildung 3 Installation nahe am Gebäude  
mit abgedeckter Fassade

## 5 Bohrung und Einbau von Erdwärmesonden



Abbildung 4 Bohreinrichtung mit Bohrgerät, Schlammmulde, Mischpumpe, Sonden-schläuche und LKW

### 5.1 Bohrvorgang

Eine Bohrung wird nach der Installation in der Regel innert zwei Tagen fertig gestellt. Es wird meist mit einer **Luft-Wasserspülung (Imlochbohrverfahren)** gebohrt, d.h. Pressluft wird unter Zugabe von wenig Wasser durch das Bohrgestänge nach unten durch den Bohrmeissel gedrückt und gelangt im Ringraum der Bohrung wieder nach oben. Dabei wird das angebohrte Gestein mit nach oben in die Schlammmulde gefördert. In Ausnahmefällen kann aufgrund von Problemen mit der Standfestigkeit des Gesteins oder wegen starken Wasserzutritten nicht mit einer Luftspülung gebohrt werden, so kann auf ein **Spülbohrverfahren** mit einer Stützflüssigkeit umgestellt werden. Als Spülmittel wird eine Wasser-Bentonit-Spülung verwendet, welche eine stabilisierende Wirkung auf das Gestein hat und einen Gegendruck erzeugt. Wird mittels einer Wasser-Bentonit-Spülung gebohrt, wird pro Bohrmeter ein Zuschlag verrechnet. Nur ein Teil der in der Schweiz verfügbaren Bohrgeräte für Erdwärmesonden können direkt von einer Luft-Wasserspülung auf eine Flüssigspülung umgestellt werden. Dies wird zwar selten benötigt, sollte jedoch vorher geklärt werden.



Abbildung 5 Bohrgerät mit Ausrüstung entlang der Strasse (Schlammmulde, Schläuche, Kompressor, Mannschaftswagen, Lieferwagen)

**Schutzverrohrung:** Im obersten Bereich der Bohrung, in welchem das Gestein nicht verfestigt ist (z.B. quartäre Schotter), wird eine temporäre Hilfs-/Schutzverrohrung mit einem Durchmesser zwischen 152 und 159 mm zum Stützen der Bohrung eingebaut. Die Mächtigkeit des Lockergesteins kann je nach Gebiet zwischen 0 bis >200 m variieren. Abhängig von der Stärke des Drehmoments, der Zugkraft der Bohranlage und der Beschaffenheit des Gesteins kann die temporäre Hilfs-/Schutzverrohrung bis ca. 120 m eingebaut werden. Im Bohrmeterpreis ist jedoch nur der Einbau der temporären Hilfs-/Schutzverrohrung bis 30 m eingerechnet. Wenn mehr als 30 m der

Hilfs-/Schutzverrohrung eingebaut werden müssen, wird ein **Zuschlag** für jeden weiteren eingebauten Meter der Hilfs-/Schutzverrohrung verrechnet. Die geologischen Verhältnisse, resp. die Lockergesteinsmächtigkeit können vorgängig beim Amt, bei Geologen oder bei der Bohrfirma selbst abgefragt werden. Ist das Lockergestein durchbohrt, verläuft die Bohrung im Fels. Der Fels ist meist standfest und benötigt deshalb keine Hilfs-/Schutzverrohrung. In Ausnahmefällen kann der Bohrmeister die Hilfs-/Schutzverrohrung nicht mehr ausbauen. Dieses Risiko muss die Bohrfirma tragen und darf nicht zu Mehrkosten zu Lasten der Bauherrschaft führen.

## 5.2 Sondeneinbau

Sobald die Bohrung abgeteuft ist, wird das Bohrgestänge mit dem Bohrmeissel ausgebaut und die Sonde unverzüglich eingebracht. Es wird meist eine Duplex-U-Sonde mit Schwergewicht mittels einer bremsbaren Haspel eingebaut, d.h. es sind zwei voneinander unabhängige U-förmige PE-Schläuche. Vor dem Einbringen der Sonde wird ein kurzer Drucktest durchgeführt, um Transport- oder Lagerschäden auszuschliessen.

Zusammen mit der Sonde wird bis auf Endteufe mindestens ein Injektionsschlauch eingebracht. Bei tiefen Sonden ab 250 m wird ein zusätzlicher Injektionsschlauch bis mind. 50 m Tiefe empfohlen. Die Sonde sollte nach Einbau aufgrund von weiteren Arbeiten und allfälligen Messungen ca. 1 m über Terrain enden, resp. überstehen. Nach dem Einbringen wird die Sonde mit Wasser aufgefüllt, mit einem Manometer ausgerüstet und druckdicht verschlossen. Die Hinterfüllung muss sofort nach Einbau der Sonde in die Bohrung, vom Sondenfuss her (unten im Bohrloch), eingepumpt werden (siehe Kapitel 4.3).

An den Sonden sind in 1 m-Abständen der Sondentyp, der Hersteller und die eingebaute Länge aufgedruckt und können bei den über dem Terrain herausragenden Sondenenden abgelesen werden. Damit kann kontrolliert werden, ob die richtigen Materialien eingebaut wurden und die Erdwärmesonden genug lang sind.



Abbildung 6 Erdwärmesondenrohre mit Hinterfüllungsschlauch auf der Haspel. Am Sondenfuss wird ein Schwergewicht angebracht.

### 5.3 Einbringen der Hinterfüllung

Das korrekte Einbringen der Hinterfüllung ist entscheidend für eine dauerhafte und funktionierende Erdwärmesondenanlage. Die wichtigsten Punkte beim Einbringen der Hinterfüllung sind:

- Homogenes Anmischen und korrekte Dichte der Hinterfüllung
- Die Hinterfüllung muss über einen Injektionsschlauch von unten nach oben lückenlos eingebracht werden.
- Die Sonden müssen während und nach der Hinterfüllung druckdicht verschlossen sein.



Abbildung 7 Mörtelmischpumpe (links) und Kollodialmischer (rechts)

Das vollständige Einbringen der Hinterfüllung dichtet das Bohrloch komplett ab, was bezüglich dem Grundwasserschutz wichtig ist. Des Weiteren schliesst die Hinterfüllung die Erdwärmesonde an das Gebirge an und ermöglicht eine Wärmeübertragung vom Gestein zur Sonde hin, was wichtig ist, um die gewünschte Energieeffizienz zu erreichen. Die Hinterfüllung wird meist als Fertigmischung geliefert. Sie besteht hauptsächlich aus Zement und Bentonit. Der Hersteller und das Fabrikat müssen von der Bohrfirma deklariert werden. Neben Fertigmischungen gibt es auch Bohrfirmen, welche die Zement-Bentonit-Mischung selbst anrühren.

Beim Einbringen der Hinterfüllung gibt es folgendes zu beachten: Die Mischung muss vor dem Verpressen in die Bohrung korrekt angemischt werden. Dabei stehen ein Kollodialmischer, eine Mischpumpe oder eine Mischwanne zur Verfügung. In der Praxis führt der Kollodialmischer in der Regel zu besseren, d.h. homogenen Hinterfüllungen. Der Zement und der Bentonit vermischen sich mit dem Wasser zu einer homogenen Suspension. Diese Suspension muss über die gesamte Hinterfüllungsphase gleichbleibende Eigenschaften haben. Die Herstellerangaben bezüglich der Hinterfüllungsdichte müssen auf jeden Fall beachtet werden.

In der Praxis werden die Hinterfüllungen oft zu dick angerührt, was zu hohen Hinterfüllungsdichten führt und damit zu einer zu hohen Druckbelastung auf die Erdwärmesonden. Es ist deshalb wichtig, dass die Dichte der angemischten Hinterfüllung vor dem Verpressen gemessen und dokumentiert wird.

Vor dem Hinterfüllvorgang sind die Erdwärmesonden komplett mit **Wasser zu verfüllen, druckdicht zu verschliessen und mit einem Manometer zu versehen**. Unter keinen Umständen darf die Sonde während dem Einbringen der Hinterfüllung durch die Gewichtssäule der Hinterfüllung gequetscht werden. Damit könnte die Sonde beschädigt und die Lebensdauer stark reduziert werden.

Die Hinterfüllung wird durch den Hinterfüllungsschlauch in die Bohrung verpresst und das Bohrloch somit von unten nach oben aufgefüllt (Kontraktorverfahren). Wichtig ist, dass so lange gepumpt wird, bis das Hinterfüllmaterial an der Oberfläche austritt. Erst dann ist die gesamte Länge des Bohrlochs hinterfüllt. Der Hinterfüllungsvorgang darf nur unterbrochen werden, wenn der Druck am Sonden-Manometer über 16 bar steigt (kurzfristig 21 bar).

## 5.4 Qualitätsprüfungen



Abbildung 8 Vollständige Hinterfüllung der Bohrung. Die Hinterfüllung tritt zu Tage.

Nach Einbringen der Hinterfüllung ist eine Qualitätsprüfung der Sonden vorzunehmen. Die Prüfung ist nach der SIA 384/6 vorzunehmen. Weil mit den Erdwärmesonden das eigentliche Bauwerk komplett im Boden liegt und allfällige Mängel nicht sichtbar sind, ist die Qualitätsprüfung der Erdwärmesonden nach Einbringen der Hinterfüllung für die Bauherrschaft von grosser Wichtigkeit. Die Prüfung ist vorzunehmen, solange die Hinterfüllung nicht beginnt abzubinden und noch flüssig ist, d.h. möglichst rasch nach Einbringen der Hinterfüllung, resp. nach Ausbau der temporären Hilfs-/Schutzverrohrung. Falls beim Ausbau der temporären Schutzverrohrung die Druckkupplungen demontiert werden müssen, so sind nach deren Ausbau die Druckkupplungen wieder anzubringen und die Sonden erneut unter Druck zu setzen.



Abbildung 9 Sonden bleiben nach Einbringen der Hinterfüllung druckdicht verschlossen. die Hinterfüllung in der Bohrung ist etwas nachgesackt und muss später wieder aufgefüllt werden.

Gemäss SIA 384/6 müssen die Sonden gespült und zwei Qualitätsprüfungen unterzogen werden. Der exakte Messablauf ist in der Norm SIA 384/6 beschrieben und wird hier nur in gekürzter Form wiedergegeben:

- 1. Spülen:** Die Erdwärmesonde wird ab Bauwasseranschluss oder Hydrant durchgespült, um allfällige Schmutzpartikel auszuspülen. Die Spüldauer ist so festzulegen, dass jeder Kreislauf einmal vollständig durchspült wird.
- 2. Die Durchflussprüfung:** Ein definierter Durchfluss wird mit einem definierten Druck durch die Sonde gefördert und jeweils der Druck am Sondeneingang und Sondenausgang gemessen. Ist die Sonde gequetscht, hat die Sonde einen zusätzlichen Fließwiderstand, was bei der Durchflussprüfung ersichtlich wird. Die Durchflussprüfung dauert 10 bis 15 min. Die Durchflussprüfung kann auch nach Abbinden der Hinterfüllung vor Anschluss der Sonde an die Wärmepumpe durchgeführt werden.
- 3. Die Druckprüfung:** Es wird ein Prüfdruck auf die Sonde gegeben, welcher abhängig von der Hinterfüllungsdichte und von der Bohrtiefe ist. Nach Aufsetzen des Prüfdrucks dehnt sich die Sonde in der flüssigen Hinterfüllung etwas aus, d.h. der Druck sinkt leicht. Ist die Sonde ernsthaft beschädigt, so fällt der Druck rasch ab. Die gesamte Druckmessung dauert rund 1.5 Stunden. Alternativ kann die Druckprüfung nach Abbinden der Hinterfüllung durchgeführt werden, indem die Sonde über mehrere Tage unter Druck (z.B. 5 bar) gesetzt wird.

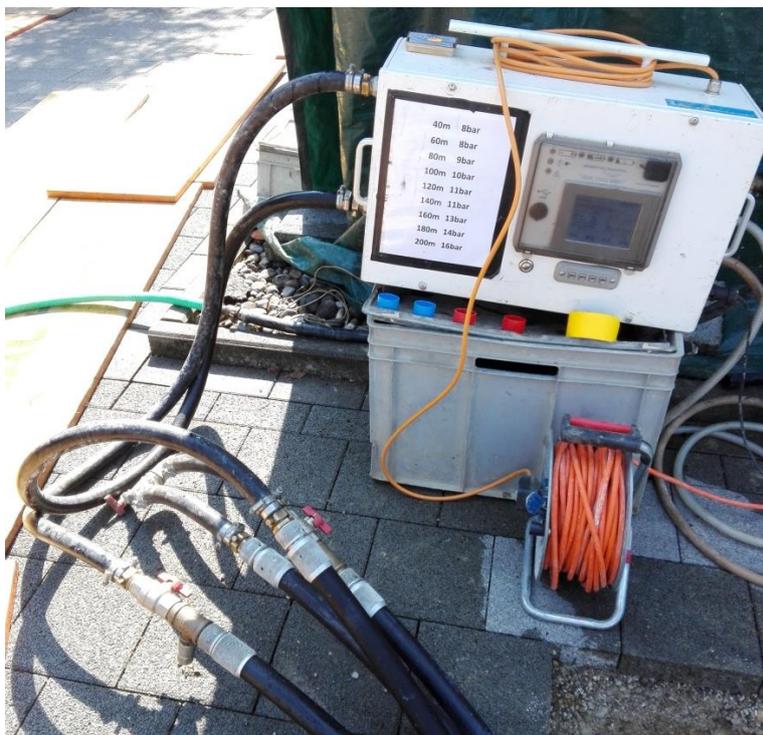


Abbildung 10 Digitales Druckprüfgerät für die Qualitätskontrolle. Wie auf der Liste auf dem Prüfgerät zu erkennen, ist für eine grössere Bohrtiefe ein grösserer Prüfdruck zu wählen.

Auf der Bohrstelle ist es schwierig mit einem analogen Messaufbau die Testbedingungen zu erfüllen. So variieren je nach Bohrstandort der Wasserdruck und die Durchflussmenge des Wassers, was einen grossen Einfluss auf die Qualität und Aussagekraft der Messung hat. Deshalb kommen vermehrt **digitale Messgeräte** zum Einsatz. Der Vorteil der digitalen Messgeräte ist, dass die Messungen nicht manipulierbar sind und immer unter gleichen Bedingungen ablaufen. Für die Bauherrschaft ist es ebenfalls von Vorteil, wenn die Messung digital erfolgt. So wird sichergestellt, dass der Messablauf und die Messbedingungen gemäss Vorgabe der SIA 384/6 genau eingehalten werden. Abschliessend liegt ein nicht manipulierbares Prüfprotokoll vor, welches der Bauherrschaft abgegeben werden muss. Weil der Mehrwert sehr gross ist, wird in der vorliegenden Mustersubmission der Einsatz eines digitalen Messgerätes nicht optional aufgeführt.

## 5.5 Einmessen der Sonde

Wurden die Bohrungen nicht gemäss Planvorgabe abgeteuft, so sind die neuen Sondenstandorte vom Bohrmeister, Geologen oder Bauleiter aufzunehmen, damit die genauen Standorte mit den Koordinaten in ein kantonales Bohrkataster eingegeben werden können. Dies wird in den meisten Kantonen verlangt.

## 6 Entsorgen des Bohrgutes

Das aus der Bohrung geförderte Material ist meist eine schlammige Mischung aus Wasser und Gesteinsbruchstücken, welches in eine 7m<sup>3</sup> bis 40m<sup>3</sup> grosse Mulde geleitet wird. Für die fachgerechte Entsorgung ist das Bohrunternehmen verantwortlich. Meist werden die Schlammmulden mit Saugwägen entleert und das Material zu einer Schlammpresse geführt. In offenen Deponien wird das Material aufgrund der Gefährdung der Deponiestabilität immer seltener angenommen.

Die Entsorgung des Bohrguts wird in der Musterausschreibung nach Aufwand in m<sup>3</sup> aufgeführt. Wird in der Bohrung Grundwasser angetroffen, welches nicht in die Kanalisation abgeleitet werden darf, kann die zu entsorgende Menge Material massiv ansteigen. Wird vom Bohrunternehmer eine Pauschale verlangt, werden entsprechende Sicherheiten eingerechnet. Wird nach Ausmass gearbeitet, trägt die Bauherrschaft in diesem Fall das Risiko und bezahlt den tatsächlichen Aufwand. Bei der Mustersubmission wird die Verrechnung nach Ausmass bevorzugt, weil sie fair gegenüber beiden Parteien ist.

Wird nach Aufwand verrechnet, soll der Bohrunternehmer in der Offerte unbedingt angeben, mit wieviel Bohrschlammmenge kalkuliert wurde. Ansonsten können die Offerten in diesem Punkt nicht gegeneinander verglichen werden.

Die zu entsorgende Menge steigt massiv an, wenn Grundwasser angebohrt wird und dieses mit der Luftspülung gefördert wird. Viele Kantone haben die Regelung, dass sauberes Grundwasser in die Kanalisation eingeleitet werden darf. Dies setzt voraus, dass der Brunnenmeister der Gemeinde seine Einwilligung dazu gibt und dass sich der Bohrschlamm über ein zusätzliches Absetzbecken absetzen kann. Trübes Wasser darf nicht in die Kanalisation eingeleitet werden! Ansonsten riskiert die Bauherrschaft eine Anzeige.

## 7 Verbindungsleitung und Anschluss an den Verteiler

Die Verlängerung der Erdwärmesonden von der Bohrung bis ins Gebäude wird von der Bohrfirma selbst oder von Unterakkordanten ausgeführt. Hier ist der Aufwand zwischen Neubau und Heizungssanierung gross:

**Bei einem Neubau** wird oft von der Bohrung bis zum Technikraum ein Leerrohr unter oder in die Bodenplatte eingelegt, was die Gebäudeeinführung sehr einfach gestaltet. Alternativ werden die Sonden durch bauseits erstellte Kernbohrungen durch die Mauer geführt. Der zusätzliche Aufwand für die Verlängerung ist relativ gering, weil meist die benötigten Gerätschaften für Leitungsgräben oder Kernbohrungen bereits auf der Baustelle sind. Hierbei ist die entsprechende Koordination des Bauleiters gefragt.

**Bei einer Heizungs-Sanierung** wird oft in der Gebäudeeinfahrt gebohrt. Dabei muss die Deckschicht (Asphalt, Pflastersteine, Rasen usw.) entfernt, ein Graben ausgehoben und die Mauer-

durchführung erstellt werden. In der Mustersubmission sind diese Positionen nicht enthalten, ein Teil der Bohrunternehmer bietet diese Leistungen auf Nachfrage an.

Je 2 Vor- und 2 Rücklaufsondenrohre der Erdwärmesonde werden mit Hosenstücken zu je einer Vor- und einer Rücklaufleitung zusammengefasst. Diese Zuleitungen sollten ca. 80 cm unter Terrain verlegt werden, damit sie frostsicher sind und einen grösseren Durchmesser haben als die Erdwärmesondenrohre.

Die Vorlauf- und Rücklaufleitungen von den Sonden werden zu einem Verteiler im oder vor dem Gebäude geführt. Dabei sollten die Zuleitungen vom Verteiler zu den Sonden mit einem geringen Gefälle Richtung Sonde hin verlegt werden, damit anschliessend die Sonden vollständig entlüftet werden können. Generell sollten die Vor- und Rücklaufleitungen von den Sonden zum Verteiler nicht direkt nebeneinander oder aufeinander verlegt werden, damit die direkte Wärmeübertragung verhindert wird. Dies erhöht die Effizienz der Anlage.

Die Erdwärmesonden können also einzeln ins Gebäude geführt werden und bei einem Innenverteiler zusammengeführt werden. Beim Innenverteiler wird im Heizungsraum etwas mehr Platz für die Montage benötigt, alle 14 Vor- und Rücklaufleitungen der 7 Erdwärmesonden müssen in das Haus geführt werden und die Länge der Zuleitungen vom Haus zu den Erdwärmesonden ist in der Regel grösser als bei einem Aussenverteiler.

### Variante Verteiler innen



Abbildung 11 Verteiler innen (© Jansen AG)

### Variante Verteilerschacht aussen



Abbildung 12 Verteilerschacht aussen  
für 3 Erdwärmesonden

Als Alternative zum Innenverteiler kann ein Aussenverteiler erstellt werden, der vor dem Gebäude vergraben ist und über einen Schachtdeckel zugänglich ist. Vom Verteiler werden nur die Haupt-rücklauf- und die Hauptvorlaufleitung (z.B. D90mm) ins Gebäude zur Wärmepumpe geführt. Mit dem Aussenverteiler müssen somit nur zwei Leitungen ins Gebäude geführt werden. Der Verteiler wird idealerweise im Sondenfeld so platziert, so dass die Länge der Zuleitung zu allen Sonden etwa gleich lang ist.

Bei beiden Varianten (Aussen- und Innenaufstellung) ist wichtig, dass im Verteiler alle Zu- und Ab-leitungen mit Schieber separat absperrbar sind, ein hydraulischer Abgleich möglich ist und die Lei-tungen im Verteiler beschriftet sind, damit klar ist, welche Leitung zu welcher Sonde führt.

Bei der Mauerdurchführung in das Gebäude müssen teilweise gas- und wasserdichte Mauerdurch-führungsmanschetten die durchgeführten Leitungen abdichten. Ob dies nötig ist, muss situativ ge-klärt werden.

Für die Befüllung des SONDENSYSTEMS müssen beim Verteiler Befüll- und Entleerungsanschlüsse angebracht werden.

Die Schnittstelle ist im Gebäude (Innenverteiler oder Hauptleitung von Aussenverteiler, welche ins Gebäude geführt wird). Die Montage der Leitungen im Gebäude ab Schnittstelle bis zum Anschluss an die Wärmepumpe wird durch den Heizungsinstallateur erbracht. Der Leitungsgraben muss bauseits erstellt werden, falls dies nicht speziell mit der Bohrfirma vereinbart wurde.



Abbildung 13 Die beiden Vor- und Rückläufe der Erdwärmesonde werden mittels Hosenstücken zusammengefasst und mittels einer PE50 Leitung an den Verteiler (-schacht) geführt

## 8 Füllen des Erdwärmesondenkreislaufes mit Wärmeträgerflüssigkeit

Als Trägermedium, welches die Wärme aus dem Untergrund zur Wärmepumpe transportiert, wird oft eine Mischung aus Wasser und Ethylenglykol verwendet. Der Anteil von Wasser beträgt in den meisten Fällen 75% und von Ethylenglykol 25%. Diese Mischung ist ein Frostschutzmittel, um sicherzustellen, dass die Erdwärmesonden nicht vereisen, auch wenn bei starkem Wärmeentzug im Winter die Rückgabetemperatur nach der Wärmepumpe im Boden unter 0 °C fallen sollte.

**Als Trägermedium kann auch 100% Wasser** verwendet werden. Dies muss allerdings bei der Planung berücksichtigt werden, weil die Sonden anders ausgelegt werden müssen. Die Vorteile von Wasser als Trägerflüssigkeit sind ein besserer COP, eine bessere Wärmekapazität der Flüssigkeit und eine Kosteneinsparung des Frostschutzmittels. Zudem ist das Trägermedium Wasser natürlicherweise umweltfreundlich. Es werden jedoch mehr Sondenmeter benötigt, um sicherzustellen, dass die Anlage immer über der Frostgrenze betrieben werden kann.

Bevor die Erdwärmesonden mit der Wärmeträgerflüssigkeit gefüllt werden, sind sie mit Wasser zu spülen. Die minimale Spüldauer ist so festzusetzen, dass mindestens ein kompletter Umlauf pro Erdwärmesondenkreislauf erfolgt. Dieses Vorgehen ist wichtig, weil damit die im System befindenden Schmutzpartikel ausgespült werden. Nach der Befüllung mit dem Trägermedium ist die Anlage zu entlüften.

Nach Befüllen und Entlüften ist nochmals eine Druckprobe nach SIA 384/6 durchzuführen, um auch den Dichtigkeitsnachweis in den Zuleitungen zu erhalten.