

# Qualitätsmanagement

Fehlervermeidung bei Wärmepumpen- und Erdsonden- Heizsystemen



Baden-Württemberg

UMWELTMINISTERIUM  
WIRTSCHAFTSMINISTERIUM

## Impressum

Herausgeber:  
Umweltministerium  
Kernerplatz 9  
70182 Stuttgart  
Tel.: 0711/ 126 - 0  
Fax: 0711/ 126 - 2881  
Internet: <http://www.um.baden-wuerttemberg.de>  
E-Mail: [poststelle@um.bwl.de](mailto:poststelle@um.bwl.de)

Wirtschaftsministerium  
Baden-Württemberg  
Theodor-Heuss-Str. 4  
70174 Stuttgart  
Tel.: 0711/ 123 - 0  
Fax: 0711/ 123 - 2377  
Internet: <http://www.wm.baden-wuerttemberg.de>  
E-mail: [poststelle@wm.bwl.de](mailto:poststelle@wm.bwl.de)

Kontakt, Idee, Konzeption und Redaktion:

Umweltministerium  
Ref. 54 „Wasserversorgung, Grundwasserschutz“

Wirtschaftsministerium  
Referat 42 „Regenerative Energien und rationelle Energieanwendung“

Konzeption und Ausarbeitung:  
Arbeitskreis Qualitätsmanagement Geothermie

Mitglieder:

Wilhelm Egger,	LRA Biberach
Jürgen Fleck,	LRA Lörrach
Thomas Götzelmann,	LRA Esslingen
Andreas Krumwieg,	LRA Rems-Murr-Kreis
Claudia Löffler,	Stadt Mannheim
Bruno Lorinser,	WM Baden-Württemberg (Obmann)
Udo Pasler,	UM Baden-Württemberg
Roswitha Schölch-Ighodaro,	Stadt Mannheim
Dr. Sylvia Schultheiß,	Stadt Pforzheim
Prof. Dr. Ingrid Stober,	RP Freiburg, Abt. Umwelt
Marion Vöröshazi,	LRA Karlsruhe

Fotonachweis:  
Dipl.-Ing. Bruno Lorinser, Wirtschaftsministerium  
Prof. Dr. Ingrid Stober, RP Freiburg, Abt. Umwelt

Gestaltung Umschlag:  
Axel Göhner, Wirtschaftsministerium

Realisierung, Satz, Repro und Druck:  
Schwäbische Druckerei GmbH, Stuttgart

1. Auflage Dezember 2009

Anmerkung: Die Broschüre entstand in enger Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen Umweltministerium und Wirtschaftsministerium und mit zahlreichen Verbänden, Fachbehörden und Planungsbüros. Nachdruck und Vervielfältigung nach Genehmigung und Nennung der Herausgeber.

### Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Landesregierung Baden-Württemberg im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf während eines Wahlkampfes weder von Parteien noch von deren Kandidaten und Kandidatinnen oder Hilfskräften zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Misbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers bzw. der Herausgeberin zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift verbreitet wurde.

Erlaubt ist es jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

# Vorwort



Neue Techniken zur Wärmenutzung, eine bessere Energieeffizienz und nicht zuletzt die gestiegenen Heizkosten haben der Wärmepumpentechnik neuen Aufschwung gebracht. Wärmepumpen nutzen die Umgebungswärme aus Luft, Grundwasser oder der Erde und sind damit eine interessante Alternative zu fossilen Brennstoffen. Dies gilt nicht nur für Neubauten. Auch bei der Sanierung von Altbauten sind inzwischen energetische Profile erreichbar, die den Einsatz von Wärmepumpen ermöglichen.

Dabei gilt es, das Gebäude und die Haustechnik als Einheit zu sehen. Denn was bei der Planung und Ausführung von großen Bauvorhaben im Objektbereich schon länger praktisch umgesetzt wird, ist im privaten Haus- und Wohnungsbau noch nicht selbstverständlich.

Hier sind eine ausführliche Schulung, Aus- und Weiterbildung der Planer, Bohrfirmen und Anlagenbauer gefragt, denn nur dann kann eine breit angelegte Qualitätssicherung funktionieren. Es sind alle am Bau beteiligten Gewerke gleichermaßen gefordert, wenn für den Anwender eine energieeffiziente und langfristig kostengünstige Heizanlage eingerichtet werden soll.

Diese Broschüre soll erste Handreichungen für Bauherren, Planer und Anlagenbauer für eine qualitätsgesicherte Umsetzung von erdgekoppelten Heizanlagen mit Wärmepumpen geben. Vor dem Hintergrund aktueller Schadensfälle wird das Umweltministerium im Jahr 2010 ergänzende Maßnahmenvorschläge entwickeln, um vergleichbare Vorkommnisse in der Zukunft möglichst zu vermeiden. Ziel dabei ist es, die Nutzung der Geothermie auch zukünftig in weitem Rahmen zu ermöglichen. Wir wünschen allen Bauherren, Planern und Ausführenden viel Erfolg bei der Nutzung der Erdwärme.

Tanja Gönner  
Umweltministerin  
des Landes Baden-Württemberg

Ernst Pfister MdL  
Wirtschaftsminister  
des Landes Baden-Württemberg

# Handreichungen

# Qualitätsmanagement

1	Einführung und Zielsetzung zum Qualitätsmanagement für Wärmepumpenanlagen zur Erdwärmenutzung	7
2	Checkliste Erdwärmenutzung für Bauherren, Planer und Wasserbehörden	11
3	Muster-Leistungsverzeichnis für die Erstellung von Erdwärmesonden	17
4	Empfehlungen zur Bauausführung und zum Betrieb von Erdwärmesonden	21
5	Protokoll über die Durchführung von Druckprüfungen	25
6	Hinterfüllung/Verpressung von Erdwärmesonden	27
7	Nicht wassergefährdende Wärmeträgermedien	31
8	Überlange Erdwärmesonden	35
9	Weitere Informationen	37

## 1. Einführung zum Qualitätsmanagement für Erdwärmesonden

Die Auslegung und der Bau von Erdwärmesonden erfordern ein umfangreiches Fachwissen und viel Erfahrung. So ist neben dem Wärme- und/oder Kältebedarf, der Auslegung der einzelnen Raumheizsysteme und der Wärmepumpe auch die Wärmeleitfähigkeit des Gebirges, die Sondenanlage (Rohre und Hinterfüllung) und das Wärmeträgermedium zu berücksichtigen. Bei gewerblichen Objekten ist eine qualifizierte, standortbezogene und am Gesamtsystem ausgerichtete Planung der gesamten Heizungs- und/oder Kühlanlage des Gebäudes sowie eine detaillierte Untersuchung des Untergrundes Standard. Im Ein- und Zweifamilienhausbereich ist eine umfassende Gesamtplanung, bei der der Wärmebedarf des Hauses mit der Wärmepumpenanlage und den tatsächlich vorhandenen Wärmeentzugsleistungen des Untergrundes abgestimmt werden, noch eher die Ausnahme. Meistens werden pauschalisierte Bemessungsansätze für den Wärmebedarf des Gebäudes und die Wärmeentzugsleistung des Untergrundes für die Anlagenauslegung angesetzt. Diese werden mit den auf dem Markt befindlichen Standardgeräten kombiniert. Diese Vorgehensweise führt in vielen Fällen zu Anlagen, die nicht die gewünschten Jahresarbeitszahlen für Erdwärmesondenanlagen um 4 erreichen.

Die Broschüre hat das Ziel, qualitative Anforderungen zum Bau von Erdwärmesonden zu formulieren, so dass der Auftraggeber und alle weiteren am Gewerk beteiligten Unternehmen diese berücksichtigen oder einfordern können. Nur eine transparente Bemessung und Umsetzung kann zu einer Gesamtanlage mit hoher Qualität und Effizienz führen.

Bevor die Planung der neuen Heizung in Angriff genommen wird, sollte bei Bestandsgebäuden die energetische Sanierung der Gebäudehülle erfolgen. Dadurch können der Wärmebedarf und damit die Auslegung der Heizanlage erheblich reduziert werden. Eine wirtschaftlichere Heizanlage ist das Ergebnis.

Die Broschüre beschreibt den augenblicklichen Kenntnisstand zum Bau von Erdwärmesonden in Baden-Württemberg. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden vor allem die Gewerke und Bereiche betrachtet, die direkt oder indirekt Einfluss auf die Qualität des Grundwassers haben können. Bemessungshinweise zur Auslegung der Anlagen und zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle werden im Leitfaden nicht berücksichtigt. Dennoch wird zu Beginn des Leitfadens eine Checkliste angeboten, die Hinweise und Empfehlungen für den Bauherren, den Planer und den Ausführenden zur Planung und Umsetzung geben, sowie wichtige Fragen rund um das vorgesehene Bauvorhaben stellt und auch die jeweiligen betroffenen Akteure benennt.

Baden-Württemberg hat einen sehr vielfältigen Untergrund und sehr unterschiedliche klimatische Bedingungen, so dass es für die Auslegung einer Erdsonde keineswegs gleichgültig ist, an welchem Ort die Anlage errichtet wird. Für den Wärmenachschub ist es wichtig, die Wasserstände, Spülungsverluste und Hohlräume zu kennen.

Um eine erste Orientierung über die Machbarkeit einer Erdwärmesonde und die möglichen Wärmeleitfähigkeiten im Planungsgebiet zu erhalten, hat das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau des Regierungspräsidiums Freiburg das Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG) [www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Produkte/geodaten-dienste/isong](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Produkte/geodaten-dienste/isong)) eingerichtet, das für jeden zugänglich ist. Das Informationssystem ersetzt aber nicht den Planer, da die tatsächlich vorhandenen geologischen Schichten von der Prognose des Informationssystems durchaus abweichen und damit auch zu anderen Wärmeentzugsleistungen führen können. Das Informationssystem soll und kann lediglich eine erste Orientierung sein und wird voraussichtlich ab dem Jahr 2011 für ganz Baden-Württemberg zur Verfügung stehen.

Die Broschüre spricht alle Bereiche an, die bei der Erstellung einer Erdwärmesonde tangiert werden. Um Defizite und Fehler bei der Planung bis zur Umsetzung und Abnahme einer Erdwärmesondenanlage zu minimieren, werden Hinweise und Empfehlungen zu der Bohrung selbst, den Hinterfüllmaterialien und den Wärmeträgermedien gegeben. Sollten dennoch unvorhersehbare Schwierigkeiten bei der Bohrung auftreten, so müssen der Auftraggeber und die ausführende Bohrfirma wissen, wer und wann darüber unterrichtet und beteiligt werden muss. Um mögliche Beeinträchtigungen des Untergrundes und des Grundwassers so weit als möglich zu vermeiden ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Behörden und ausführenden Firmen notwendig. Dabei muss deutlich gemacht werden, dass die Behörde gemeinsam mit dem Ausführenden nach Lösungen des Problems sucht, aber gegebenenfalls, um Schäden im Untergrund und der umliegenden Bebauung zu vermeiden sowie auch aus Fürsorge für den Auftraggeber, den Abbruch einer Bohrung verfügen muss, um Schäden im Untergrund und/oder der umliegenden Bebauung zu vermeiden.

Der Auftraggeber und/oder das Bohrunternehmen sollten eine ausreichend hohe Versicherung abschließen, um mögliche zusätzliche Aufwendungen bei unvorhersehbaren Schwierigkeiten abdecken zu können.

Im Baugewerbe gibt es für viele Gewerke Muster-Leistungsverzeichnisse. Für den Bereich Erdwärmebohrung wurde ebenfalls ein Muster-Leistungsverzeichnis erstellt, mit dem die Tätigkeiten im Rahmen einer Erdwärmesondenbohrung detailliert beschrieben werden. Grundlage für die fachgerechte Ausführung der Arbeiten sind zudem die einschlägige Verdingungsordnung für Bauleistungen und die DIN Normen.

Darüber hinaus stellt die Broschüre Anforderungen an die Zusammensetzung und Eigenschaften des Verpressmaterials zum Verschluss des Bohrlochs dar. Auch die Abnahme und vor allem die Prüfung der Funktionsfähigkeit der Erdwärmesonde mittels einer Druckprüfung werden beschrieben.

Neben den üblichen Wasser-Glykol-Gemischen können auch nicht wassergefährdende Stoffe als Wärmeträgermedien eingesetzt werden. Beispielhaft wird auf die Eigenschaften der Medien CO<sub>2</sub> und Wasser eingegangen.

Eine Erdwärmesonde wird nur dann nachhaltig betrieben, wenn sie dem Untergrund nicht mehr Wärmeenergie entzieht, als dem Untergrund jährlich zugeführt wird, d. h. über das Jahresmittel ist die Energiebilanz des Bodenkörpers ausgeglichen. Dabei ist es gleichgültig, ob die Energiezufuhr zur Erdwärmesonde durch Konvektion oder Konduktion im Untergrund erfolgt oder ob direkt durch Wärmeeintrag im Sommerhalbjahr in die Erdwärmesonde dem Bodenkörper Wärmeenergie zugeführt wird.

## 2. Checkliste Erdwärmenutzung für Bauherren, Planer und Wasserbehörden

Eine dauerhafte geothermische Energiegewinnung mittels Erdwärmesonden ist nur durch sorgfältige Planung, Bemessung und Ausführung sowohl der gebäudeseitigen Anlagenteile als auch der untergrundseitigen Energiequelle sicherzustellen.

Die fachlichen Anforderungen zur Beurteilung beider Bereiche liegen so weit auseinander, dass sie in der Regel nicht von einer einzelnen Person abgedeckt werden können. Daher ist eine intensive Zusammenarbeit des Heizungsplaners, des Planers der energie- und verfahrenstechnischen Belange auf der Hausseite, sowie des Geologen oder Geotechnikers, des Spezialisten für die untergrundseitigen Anlagenteile, zwingend erforderlich. So erhält der Anwender eine optimal abgestimmte Anlage.

Da der haustechnische Anteil in der Regel überwiegt, werden die untergrundseitigen Probleme zum Teil nur unzureichend berücksichtigt. Mängel bei der Planung, Bemessung und Ausführung der Erdwärmesonden machen sich in der Regel jedoch nicht sofort bemerkbar. Sie äußern sich erst im Laufe der Betriebszeit durch eine Überbewirtschaftung der Erdwärme und ein deutliches Nachlassen des Wirkungsgrades. Die Folge sind zunehmende, unwirtschaftliche Betriebskosten. Bei schwerwiegenden Mängeln müssen Sonden aufgegeben, gegebenenfalls mit hohem Aufwand Zusatzsonden angelegt oder, im Extremfall, die Gesamtanlage aufgegeben werden.

Die nachstehende Tabelle soll Bauherren, Planern und der Wasserbehörde als Checkliste bei Planung, Vergabe, Ausführung, Dokumentation und Betrieb von Erdwärmebohrungen dienen. Es kann für die einzelnen Schritte abgelesen werden, wer in welcher Phase durch Beachtung und Überwachung verschiedener Punkte zur Qualitätssicherung der Anlage bzw. zur fachgerechten Ausführung durch die Bohrfirma beitragen kann.

Grundsätzlich gilt, dass Einsparungen bei den Kosten für Planung, Ausführung und Bauüberwachung bei schlechtem Wirkungsgrad einer Anlage durch zusätzliche Heizkosten schnell übertroffen werden.

<u>Phase</u>	<u>Bauherr</u>	<u>Planer</u>	<u>Wasserbehörde</u>
<b>Planung, Genehmigungsfähigkeit:</b>			
Liegen genehmigungsrechtliche Versagensgründe (Wasserschutzgebiete, Einzugsgebiete sensibler Nutzungen, Georisiken) vor? => Bei Wasserbehörde erfragen.	X	X	X
Gibt es Fördermöglichkeiten für EWS?	X	X	
Ist die Gebäudeisolierung optimiert?	X	X	
Ist eine Fußbodenheizung vorhanden?	X	X	
Ist eine Wandheizung vorhanden?	X	X	
Soll die EWS auch zu Kühlzwecken genutzt werden? => auf entsprechendes Rohrmaterial achten!	X	X	X
Ist ein Wärmezähler vorgesehen?	X	X	

<u>Phase</u>	<u>Bauherr</u>	<u>Planer</u>	<u>Wasserbehörde</u>
<b>Planung, Genehmigungsfähigkeit:</b>			
Wurde die Entzugsleistung über die zu erwartende Schichtenfolge und die Temperaturverhältnisse berechnet/ ermittelt?	X	X	
Liegen Georisiken (z.B. Gipschizont, Karst, Zonen mit starker tektonischer Auflockerung, Schichtquellen, usw.) vor? => Bei Wasserbehörde erfragen.	X	X	X
Ist die Wärmeentzugsleistung im Verhältnis zu Bohrlänge und Heizleistung plausibel? (Vorlauftemperatur der Heizanlage)	X	X	
Ist die vorgesehene Vorlauftemperatur der Heizanlage und die Raumtemperatur richtig bemessen? Ist die Überlastung der Erdwärmesonde (EWS) und damit eine Vereisung/ Abkühlung des Untergrundes ausgeschlossen?	X	X	
Können die Sonden mit ausreichendem Abstand zueinander und zum Nachbargrundstück hergestellt werden?	X	X	X

<b>Genehmigung, Vergabe, Ausführung:</b>	<u>Bauherr</u>	<u>Planer</u>	<u>Wasserbehörde</u>
Bei Sondenlängen > 150 m ist bezüglich Genehmigungsfähigkeit eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen (Druckfestigkeit des vorgesehenen Materials).		X	X
Bei Ausschreibung der Bohrarbeiten ist auf mögliche geologische Bohrrisiken (z.B. Karstgebiet, Arteser, mehrere Grundwasserstockwerke, Georisiken) und Erschwernisse hinzuweisen.		X	
Es wird empfohlen, dass der Bauherr bei den Arbeiten zur Herstellung der EWS anwesend ist bzw. einen Sachkundigen zur Überwachung beauftragt.	X		
Verfügt die Bohrfirma über ein Zertifikat nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 oder nach dem Schweizer Gütesiegel; ist das Bohrpersonal qualifiziert?	X	X	X



<b>Genehmigung, Vergabe, Ausführung:</b>	<b><u>Bauherr</u></b>	<b><u>Planer</u></b>	<b><u>Wasserbehörde</u></b>
Welche Referenzen kann das Bohrunternehmen vorweisen?	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Verfügt die Bohrfirma über geeignetes Gerät (Bohrgerät, Pumpen f. Suspension, Absetzbecken, Verrohrung)?	<b>X</b>		<b>(X)</b>
Liegen Einzelprüfnachweise oder eine Bauartzulassung für die Sonden oder die Sondenanlage vor?	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>(X)</b>
Ist der genaue Bohrtermin (evtl. Verpresszeitpunkt bekannt geben) bei der Wasserbehörde schriftlich angezeigt worden (E-Mail, Fax)?	<b>X</b>		<b>X</b>
Spülzusätze dürfen nur eingesetzt werden, wenn sie nicht wassergefährdend sind.	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>(X)</b>
Schweißarbeiten am Sondenfuß sind auf der Baustelle unzulässig! Für die horizontale Anbindung werden Pressfittings empfohlen.	<b>X</b>		<b>(X)</b>
Der Einbau der Sonden hat über eine Haspel zu erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Verletzung der Sonden auftritt (kein Knicken, oder sonstige mechanische Beschädigungen),</li> <li>- der Verpressschlauch richtig angebracht (unmittelbar über dem Sondenfuß, höchstens 2m über Endteufe) wird,</li> <li>- EWS mit Gewicht und mit Wasser gefüllt eingebaut wird.</li> <li>- der Einbau bei Frosttemperaturen nicht ohne vorbereitende Maßnahmen erfolgt.</li> </ul>	<b>X</b>		<b>(X)</b>
Das Bohrloch ist sofort nach Einbringung der Erdwärmesonde fachgerecht zu verpressen.	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>(X)</b>
Die eingebrachte Sondenlänge sollte überprüft werden (lfd. Meter sind i. d. R. auf dem Sondenschlauch aufgedruckt).	<b>X</b>		<b>(X)</b>

<b>Genehmigung, Vergabe, Ausführung:</b>	<b><u>Bauherr</u></b>	<b><u>Planer</u></b>	<b><u>Wasserbehörde</u></b>
Soll/Ist-Verbrauch des Verpressmaterials sollte überprüft werden. Das Verpressmaterial ist von unten nach oben einzubringen, bis es an der Oberfläche aus dem Bohrloch austritt.	X		(X)
Falls Erdwärmesondenrohre nicht unmittelbar in den Heizraum verlegt werden, sind die Rohre durch die Bohrfirma zu sichern. Bei Frostgefahr sind die mit Wasser gefüllten Sonden bis 1 m unter Geländeoberkante zu entleeren.	X		
<b>Dokumentation:</b>			
Der Bohrunternehmer muss Kenntnis darüber erhalten, welche Anforderung an die Bohrdokumentation in Baden-Württemberg (entsprechend dem Leitfaden) gestellt werden. Es wird empfohlen, diese Anforderungen in den Vertrag zwischen Bauherren und Bohrunternehmer aufzunehmen!	X	X	
Die Übergabe der Bohrdokumentation ist Leistungsbestandteil des Bohrunternehmers. Nur so kann der Bauherr die vertragsgemäße Ausführung der Leistung überprüfen. (Abnahme)	X		
Bohrdokumentation und Druckprüfungsprotokolle sind der Behörde fristgerecht vorzulegen. Falls die Dokumentationsunterlagen nicht fristgerecht vorgelegt werden, wird dies angemahnt (ggf. mit gleichzeitiger Androhung eines Bußgeldes).	X		X
<b>Betrieb:</b>			
Die Rücklauftemperatur der Sole (von der Wärmepumpe in die Sonde zurück) sollte 0°C nicht unterschreiten.	X		
Der Stromverbrauch sollte fortlaufend dokumentiert werden (Feststellung der Jahresarbeitszahl).	X		
Es sollten ausschließlich Hocheffizienzpumpen zum Einsatz kommen.	X	X	

Die mit (X) gekennzeichneten Punkte können nur im Rahmen einer Vor-Ort-Kontrolle überprüft werden.

### 3. Muster-Leistungsverzeichnis für die Erstellung von Erdwärmesonden

Baubeschreibung:

#### (Fall Neubau)

Im Zuge der Erstellung des Gebäudes ..... (Bauherrschaft); Flstk.Nr. ....; (Adresse) in ..... (Stadt/ Gemeinde/Ortsteil) ist/sind ..... (Anzahl) Erdwärmebohrung(en) niederzubringen. Die Arbeiten sollen im Zeitraum von ..... bis ..... (jeweils KW und Jahr) durchgeführt werden.

#### (Fall bestehendes Gebäude)

Das Gebäude .....(Bauherrschaft) Flstk. Nr. ; (Adresse) in .....(Stadt/Gemeinde/Ortsteil) wird mit einer neuen Heizanlage auf Basis einer Wärmepumpe ausgestattet. Es ist/sind daher .....(Anzahl) Erdwärmebohrung(en) niederzubringen. Die Arbeiten sollen im Zeitraum von ..... bis ..... (jeweils KW und Jahr) durchgeführt werden.

Eine Zufahrtmöglichkeit für Schwerlastverkehr bis zu ..... t und ..... m Breite besteht/besteht nicht. Ein Stromanschluss 230 V/400 V ist bauseits vorhanden/ist vom Auftragnehmer (AN) zu stellen. Ein Trinkwasseranschluss ist bauseits vorhanden/für einen Trinkwasseranschluss ist seitens des AN zu sorgen.

Das Baugrundstück verfügt über einen Abwasseranschluss/für die Abwasserentsorgung ist vom AN zu sorgen.

Informationen über vorhandene Leitungstrassen im Bohrfeld sind vom AN einzuholen.

Die Baubeschreibung ersetzt nicht die Kenntnisse der Verhältnisse vor Ort. Der AN hat die Baustelle deshalb vor Baubeginn zu besichtigen und zu kontrollieren. Hierzu gehört auch die Einholung von Informationen über die geologischen Verhältnisse und Risiken am Bohrplatz. Ggf. erforderliche Abstimmungen mit anderen Firmen sind Sache des AN.

Die VOB, die Auflagen der Genehmigungsbehörde und die Empfehlungen zur Bauausführung sind Vertragsbestandteil. Insbesondere, wenn sich bei der Bohrung signifikante Unterschiede zur prognostizierten Schichtenfolge oder unvorhergesehene Besonderheiten oder Anomalien ergeben, ist das weitere Vorgehen mit dem AG, dem Planer und der Genehmigungsbehörde abzustimmen.

Alle Beeinträchtigungen des Baugrundstücks, die durch den AN erfolgt sind, sind nach Beendigung der Arbeiten vollständig zu beseitigen. Beschädigungen sind im Einvernehmen mit dem AG zu beheben.

Der AN hat dem AG die Fertigstellung seiner Arbeiten anzuzeigen. Nach Fertigstellung der Anlage ist eine Abnahme durchzuführen. Die Abnahme beinhaltet u.a. die Übergabe der kompletten Dokumentation der Unterlagen nach Pos. 5. - 8. einschließlich Einmaßdaten und Ausbauezeichnung.

Der AN übernimmt abweichend von der VOB für alle seine Arbeiten eine Garantie von 5 Jahren.

Die Abnahme der Leistungen des AN ist zu protokollieren.

Übergabepunkt der ausführenden Bohrfirma an die nachfolgenden Gewerke ist:

- Ausgang Erdwärmesonde
- Schachtbauwerk
- Heizraum
- (Sonstiges).....

#### Eventualposition (für den Fall mehrerer Erdsonden):

Da zwei (drei) Erdsonden zur Ausführung gelangen, ist darauf zu achten, dass die Längen aller Erdsonden einschließlich der jeweiligen Anschlussleitungen bis zum Verteiler exakt gleich lang sind. Dann muss beim Anschluss an den Verteiler kein hydraulischer Abgleich vorgenommen werden. Sollte das aus baulichen Gründen nicht möglich sein, so sind für Vor- und Rücklauf jeweils regelbare Sammelverteiler zu setzen. Ein hydraulischer Abgleich ist erforderlich.

Pos.	Leistung	Menge	Einheit/Dimension	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Erstellen und Einreichen der erforderlichen wasserrechtlichen und ggf. bergrechtlichen Anträge, Antragsunterlagen und Bohranzeigen (siehe Leitfaden und Vorgaben der Unteren Wasserbehörde)		Stück		
2	Baustelleneinrichtung		pauschal		
3	Container für ordnungsgemäße Bohrgutentsorgung und Entsorgungskosten sowie Abwassergebühren. Entsorgung mit Nachweis		pauschal		
4	.... Bohrungen Ø ..... mm, ..... m Endteufe einschl. .... m Verrohrung und aller Nebenleistungen		Meter (m)		
5	Probennahme (DIN 4021), geol. Aufnahme der Bohrproben (DIN 4022) und Darstellung (DIN 4023) gemäß Leitfaden		pauschal		
6	Liefern und einbauen der Erdwärmesonde(n), Sondenmaterial: ...; Hersteller: .....; Durchmesser ..... mm; Sondentyp: .....		Meter (m)		
7	Durchführung der Druckprüfungen nach VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2 einschl. Dokumentation		pauschal		
8	Verfüllen des Ringraumes mit Verpressmaterial ....., Dichte: .... N/dm <sup>3</sup> mit Nachweis der Dichte nach dem Verpressen. Bei mehr als .... m <sup>3</sup> Suspensionsverbrauch (= 200 % des Sollverbrauchs) ist das weitere Vorgehen mit		Kubikmeter (m <sup>3</sup> )		

Pos.	Leistung	Menge	Einheit/Dimension	Einheitspreis	Gesamtpreis
	dem Auftraggeber und der Genehmigungsbehörde abzustimmen Fabrikat: Type:				
9	Verlegung und Einbau der Zuleitungen bis zum definierten Übergabepunkt, ggf. komplett einschließlich Tiefbauarbeiten Grabentiefe.....m		Meter (m)		

**Eventualpositionen:** (für den Fall mehrerer Erdwärmesonden, Anomalien, Gasführung, Kluffzonen, Regiearbeiten usw.)

10	Setzen eines Schachtes (DN.....) aus Betonfertigteilen einschl. Abdeckung (befahrbar/nicht befahrbar nach Klassifikation) und Einführung der Sonden	EP	pauschal		
11	Erd-, Tiefbau-, und sonstige Arbeiten				
11.1	Geologe	EP	Stunden (h)		
11.2	Bohrmeister	EP	Stunden (h)		
11.3	Bohrhelfer/Monteur	EP	Stunden (h)		
11.4	Bohrgerät einschl. Zugfahrzeug und Zubehör	EP	Stunden (h)		
11.5	Montagewagen	EP	Stunden (h)		
11.6	Kleinbagger	EP	Stunden (h)		
11.7	Verfüllmaterial für Rohrgraben	EP	Kubikmeter (m <sup>3</sup> )		
11.8	Packer	EP	Stück		
11.9	Sand	EP	Kubikmeter (m <sup>3</sup> )		
11.10	Verrohrung	EP	Durchmesser .... Länge (m)		

## 4. Empfehlungen zur Bauausführung und zum Betrieb von Erdwärmesonden

### **Bauausführung:**

1. Mit der Bauausführung dürfen nur Bohrunternehmen beauftragt werden, die als Fachfirma nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 zertifiziert sind oder das Gütesiegel der Erdwärmesonden-Bohrfirmen der Schweiz besitzen oder einen gleichwertigen Qualifikationsnachweis erbringen.
2. Die wasserrechtliche Entscheidung und deren Nebenbestimmungen sind der Bohrfirma mindestens 1 Woche vor Beginn der Bohrung zur Kenntnis zu geben und auf der Baustelle vorzuhalten.
3. In Gebirgen mit starker Klüftung oder Verkarstung sind Bohrverfahren mit Luftspülung oder das Bohren mit dem Doppelrotorkopf am besten geeignet. Um die Gefahr einer dauerhaften Beeinträchtigung von Grundwasserfassungen oder Quellen durch Trübungen, Kontaminationen und mikrobiologische Verunreinigungen durch Spülungsverluste sowie durch verlorengegangene Zementsuspension zu vermeiden, darf nur mit Luft und/oder Wasser in Trinkwasserqualität gebohrt werden.
4. Sofern die Verwendung von Spülungszusätzen zur Stabilisierung des Bohrlochs erforderlich ist, sind die Vorgaben des DVGW-Merkblattes W 116 einzuhalten.
5. Der Bohrdurchmesser ist so zu wählen, dass nach Einbau der Sonde die Querschnittsfläche der Ringraumverfüllung durch Zementsuspension mehr als 65% der Bohrquerschnittsfläche beträgt. Die Durchmesseruntergrenze für eine Erdwärmesonden-Bohrung beträgt 120 mm für die Standard Doppel-U-Sonde DN 32.
6. Bei vollständigem Spülungsverlust sowie beim Anbohren von Hohlräumen >2 m Länge ist die Bohrung abzubrechen und das Bohrloch nach Absprache mit der unteren Wasserbehörde im Verlustbereich mit durchlässigem, mittelkörnigem Material, einem Gegenfilter und darüber durch Zement-Bentonit-Suspension oder gleichwertiger Abdichtung wieder dauerhaft dicht zu verfüllen. Wenn der Hohlraum nicht aufgefüllt werden kann, ist das Bohrloch durch einen oberhalb eingebauten verlorenen Packer und darüber durch Zementation wie zuvor dauerhaft dicht zu verschließen. Das zur Verfüllung des Hohlraums eingebrachte Material muss hygienisch unbedenklich und chemisch grundwasserneutral sein. Die Erdwärmesonde kann bis 5 m über der Abdichtung im Bohrloch eingebaut werden.  
Bei teilweisen Spülungsverlusten und bei mit Luftspülung ausgetragenen Wassermengen von über 2 l/s hat das Bohrunternehmen die untere Wasserbehörde unverzüglich zu informieren. In Absprache mit der unteren Wasserbehörde kann in diesen Fällen die Bohrfirma einen Erdwärmesondenpacker verwenden, so dass damit ggf. auch der untere Bereich des Bohrlochs geothermisch mitgenutzt werden kann.
7. Die bei der Bohrung angetroffene Schichtenfolge ist durch eine sorgfältige Probenahme nach DIN 4021 (Probenahme alle Meter, mindestens jedoch alle 2 m), Aufnahme der Schichtenfolge gemäß DIN 4022 Teil 1, deren Darstellung (DIN 4023) sowie durch eine geologische Gliederung des Bohrprofils fachgerecht nach dem Stand der Technik zu dokumentieren. Falls eine eindeutige Klärung der geologischen Verhältnisse, besonders bei hydrogeologischem Stockwerksbau im Vorfeld nicht möglich ist, ist ein Gamma-Ray-Log (GRL) vorzusehen. Werden mehrere Bohrungen eng benachbart niedergebracht, können bei ungestörten geologischen Lagerungsverhältnissen in Abstimmung mit der unteren Wasserbehörde und dem Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 LGRB, einzelne Bohrungen von einer ausführlichen Dokumentation der erbohrten Schichtenfolge ausgenommen werden. Das Bohrgut ist für eine Aufnahme durch das Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 LGRB, verpackt und beschriftet bis 1 Monat nach Versand des Schichtenverzeichnisses und des Protokolls zum Bau der Erdwärmesonde an die Behörden aufzubewahren.
8. Beim Abteufen der Bohrung sind außerdem Wasserstände, Spülungsverluste, evtl. ausgeblasene Wassermengen, Klüftigkeit, Hohlräume etc. zu protokollieren. Bei Auffälligkeiten wie z.B. sprunghaft fallende oder steigende Wasserstände, größere Hohlräume, die nicht mit Zementsuspension verfüllt werden können, bei Spülungsverlusten >2 l/s und beim Erbohren von leicht löslichem Gestein (Salz, Gips, Anhydrit) ist die untere Wasserbehörde unverzüglich zu informieren und das weitere Vorgehen mit ihr abzustimmen.

9. Zur Dokumentation und Beweissicherung empfiehlt sich der Einsatz eines Bohrdatenschreibers.
10. Um die gegenseitige Beeinflussung von Sonden zu vermeiden, wird ein Mindestabstand von 10 m empfohlen.
11. Bei der Verwendung von Sondenrohren mit einem Nenndruck PN 16 und der Verwendung von wassergefährdenden Stoffen (WGK 1) als Wärmeträgermedium ist die Bohrtiefe auf 150 m zu beschränken.
12. Die Erdwärmesonden sind gemäß VDI-Richtlinie 4640 werkseitig fertig konfektioniert einzubauen. Auf der Baustelle sind Schweißungen und sonstige Verbindungsarbeiten nur im horizontalen Anschlussbereich der Erdsonden zulässig.
13. Nach Einbau der Sonde ist der Bohrlochringraum vollständig mit Hinterfüllmaterial, ausgehend vom Sondenfuß, von unten nach oben zu verpressen (vgl. Handreichung zur Hinterfüllung). Die Hinterfüllung ist sofort nach Einbau der Sonde in das Bohrloch vorzunehmen. Die Bohrlochverrohrung ist dabei sukzessive zu ziehen. Vor der Verpressung ist die Erdwärmesonde mit Wasser zu füllen und druckdicht zu verschließen, um ein Beulen der Sondenschläuche während der Verfüllmaßnahme zu verhindern. Dies gilt nur für Erdwärmesonden bis 150 m Länge. Die Verpress-Suspension muss nach Erhärtung dauerhaft dicht und beständig sein. Der Einbau der Hinterfüllung ist zu dokumentieren. Von dem aus dem Bohrlochkopf austretenden Hinterfüllmaterial ist eine Rückstellprobe zu entnehmen und mindestens bis 1 Monat nach Versand des Protokolls zum Bau der Erdwärmesonde aufzubewahren.
14. Die Ringraumverpressung sowie die Anzahl und Anordnung der Verpressschläuche ist grundsätzlich gemäß VDI-Richtlinie 4640 (Blatt 2, Ziff.5.2.3) vorzunehmen; eine Anpassung an die Geologie bzw. Stockwerksgliederung ist erforderlich (je Grundwasserstockwerk zumindest ein Verpressschlauch). Die eingebrachten Hinterfüllmengen sind zu erfassen und mit dem Sollwert (Ringraumvolumen des Bohrlochs) zu vergleichen. Bei erheblichen Verlusten (z.B. über 200% Suspensionsverbrauch) ist die Zementation abzubrechen und der Verpressschlauch bis zum derzeitigen Niveau des Hinterfüllmaterials hochzuziehen. Die untere Wasserbehörde ist zu informieren und mit ihr das weitere Vorgehen abzustimmen.
15. Bei stockwerksübergreifend gespanntem Grundwasser muss gewährleistet werden, dass durch die Ringraumverpressung oder sonstige Absperrmaßnahmen ein anhaltender Grundwasserabfluss in ein über- oder unterlagerndes Grundwasserstockwerk verhindert wird.
16. Wird beim Bohren artesisch gespanntes Grundwasser angetroffen, so ist der Zutritt im Bohrloch mit geeigneten Absperrvorrichtungen (z.B. Packer, Plombe) dauerhaft dicht zu verschließen. Oberhalb der Absperrvorrichtung ist die Bohrung in jedem Fall dauerhaft dicht auf eine Strecke von mindestens 5 m aufzuzementieren. Die Erdwärmesonde kann u.U. in Absprache mit der unteren Wasserbehörde bis 5 m über der Abdichtung im Bohrloch eingebaut werden.
17. Werden Gasaustritte oder „Ausbläser“ angefahren, so muss eine Gasanalyse durchgeführt werden. Die einschlägigen Sicherheitsvorkehrungen (Explosionsschutz) sind zu beachten. Das gesamte Bohrloch ist in diesem Fall wieder dauerhaft dicht zu verschließen. Die untere Wasserbehörde ist zu informieren. Der Erfolg der Verschließung ist in Abstimmung mit der unteren Wasserbehörde zu überprüfen und zu protokollieren.  
  
In Gebieten, in denen eine schwache Gasführung auch nach Sondereinbau und Ringraumzementation nicht ausgeschlossen werden kann, soll über dem Sondenkopf ein Kontrollschacht gebaut werden. Der Schacht darf nicht gasdicht überdeckt und nicht überbaut werden. Er muss zu Kontrollzwecken zugänglich bleiben. Die Leitungsführung in das Gebäude ist gasdicht herzustellen.
18. Eventuell vorhandene Georisiken sind zu beachten. Auskunft bietet die untere Wasserbehörde, mit der das Vorgehen fallweise abzusprechen ist.
19. In betonaggressivem Grundwasser ist für die Suspensionsherstellung ein geeignetes Material zu verwenden (DIN 4030).
20. Das Einleiten von im Bohrloch auftretendem Grund- oder Schichtenwasser in die Regenwasserkanalisation oder ein Gewässer ist nicht gestattet.
21. Die Vorschaltung eines ausreichend bemessenen Absetzbeckens zur Rückhaltung der mineralischen Stoffe ist in jedem Falle zwingend erforderlich.

22. Für die Einleitung des Wassers aus dem Bohrloch in die Schmutz- oder Mischwasserkanalisation ist vorab das Einvernehmen mit dem Kanalnetzbetreiber bzw. der betroffenen Gemeinde / Stadt einzuholen.
23. Das Bohrgut bzw. der Bohrschlamm ist ordnungsgemäß zu entsorgen.
24. Das Bohrloch und die Erdwärmesonde müssen gegen das Eindringen von Flüssigkeit und vor unbefugter Manipulation gesichert sein. Bei einer Überbauung wird zur Sicherung des Sondenkopfes ein Schacht empfohlen.

#### **Betrieb:**

25. Der Sondenkreislauf ist bei Einsatz von wassergefährdenden Stoffen (WGK 1) als Wärmeträgermedium gegen Flüssigkeitsverluste infolge von Leckagen zu sichern und dazu z. B. mit einem Druck-/Strömungswächter auszustatten, der bei Abfall des Flüssigkeitsdrucks in der Anlage die Umwälzpumpe sofort abschaltet, Alarm auslöst und den Austritt der Wärmeträgerflüssigkeit verhindert.
26. Die Funktionsfähigkeit des Druck-Strömungswächters bzw. die Dichtheit des Sondenkreislaufs und die Dichtheit des Wärmepumpenkreislaufs sind vom Betreiber zu kontrollieren. Wird eine Undichtheit im Sondenkreislauf festgestellt, ist die untere Wasserbehörde zu informieren.
27. Der Anlagenbetreiber haftet für den ordnungsgemäßen Bau und Betrieb der Anlage und alle daraus resultierenden Schäden.
28. Beim Wechsel des Anlagenbetreibers sind dem neuen Betreiber die Herstellungs-, Betriebs- und wasserrechtlichen Unterlagen auszuhändigen. Der Wechsel ist der unteren Wasserbehörde mitzuteilen.
29. Die Erdwärmesonde ist ohne Gefahr einer Vereisung des Untergrundes zu betreiben.
30. Bei dauerhafter Außerbetriebnahme der Erdwärmesonde ist ein eventuell vorhandenes wassergefährdendes Wärmeträgermedium auszuspülen und ordnungsgemäß zu entsorgen. Die Sonde ist vollständig mit dauerhaft dichtem Material zu verpressen. Die ordnungsgemäße Stilllegung ist der unteren Wasserbehörde unter Nachweis der Verfüllung mitzuteilen.



Bau eines Erdsondenwärmespeichers



**Landratsamt**

Anlage zur wasserrechtlichen Entscheidung vom \_\_\_\_\_, Aktenzeichen:

**5. PROTOKOLL ÜBER DIE DURCHFÜHRUNG VON DRUCKPRÜFUNGEN**

(Es ist das Gesamtsystem oder jede Sonde einzeln zu prüfen. Bei Undichtigkeiten ist jeder Kreis separat zu prüfen)

Erdwärmesonden: \_\_\_\_\_ (Bauherrschaft)

Adresse der Bohrung: \_\_\_\_\_

Endteufe, Anzahl, Durchmesser der Bohrung: \_\_\_\_\_

Prüfgegenstand:

Gesamtsystem  Sonde(n)  Kreis  (zutreffendes ankreuzen)

Druckprüfung	Beginn (Datum, Uhrzeit)	Erforderlicher Prüfdruck (soll in bar)	Tatsäch- licher Prüfdruck (ist in bar)	Ende (Datum, Uhrzeit)	Druck nach erfolgter Prüfung (ist in bar)
Werkseitige Prüfung des fertig gestellten Sondenfußes (gem. Ziff. 5.2.2 VDI 4640, Blatt 2) incl. Prüfprotokoll der Sonde ggf. als Anlage zu diesem Blatt		<b>Nenn- druck des Rohrmaterials (PN) x 1,5</b>			
Funktionsendprüfung der mit Wasser gefüllten Sonde (gem. Ziff. 5.2.3 VDI 4640, Blatt 2) sofort nach Einbau und 2 Tage nach Ringraumverfüllung	Beginn Vorbelastung (30 Min.):	<b>≥ 6 bar</b> (am Sondenkopf)			
	Beginn Druckprüfung (60 Min.):	<b>≥ 6 bar</b> (am Sondenkopf)			(zulässiger Druckabfall = 0,2 bar)

\_\_\_\_\_(Firmenstempel)

\_\_\_\_\_(Datum, Unterschrift  
verantwortlicher Bauleiter oder Bohrgeräteführer)

**Als Nachweis gegenüber dem Bauherrn:**

Prüfung des Gesamtsystems vor Inbetriebnahme (gem. Ziff. 5.2.7 VDI 4640, Blatt 2)		<b>Betriebsdruck x 1,5</b>			
-----------------------------------------------------------------------------------	--	--------------------------------	--	--	--

## 6. Hinterfüllung/Verpressung von Erdwärmesonden

### Aufgaben der Hinterfüllung (Verpressung)

- Abdichtung mehrerer Grundwasserstockwerke gegeneinander, Verhindern von Wegsamkeiten entlang der EWS, Wiederherstellung der Dichtwirkung von Grundwasserstauern
- zusätzlicher Schutz des Grundwassers vor auslaufenden Wärmeträgerflüssigkeiten bei defekten Sondensträngen
- Thermisch optimale Anbindung der EWS an das umgebende Gestein
- Dauerhafte und setzungsfreie Bohrlochverfüllung

Eine unzureichende Verpressung ist kaum zu sanieren.

Der Grundstückseigentümer haftet für Schäden, die aus einer nicht fachgerechten Ausführung der Erdwärmesonde entstehen.

### Geforderte Eigenschaften von Verpressmaterialien

- Geringe Durchlässigkeit, dauerhafte Dichtigkeit
- Zugelassen für den Einsatz im Grundwasser.
- Einfaches Handling und sichere Verarbeitbarkeit auf der Baustelle, gute Pumpbarkeit
- Sedimentationsstabil, volumenbeständig, setzungs- und schrumpfungsaarmes Abbindeverhalten
- Beständigkeit gegen chemische, thermische und mechanische Belastungen
- Frostbeständigkeit
- Gute Fließeigenschaften
- Möglichst hohlraumfreie Struktur der abgebundenen Suspension
- Hohe Wärmeleitfähigkeit

### Mögliche Baustellenmischungen

- Dämm-Wasser-Gemische
- Dämm-Zement-Wasser-Gemisch
- Bentonit-Zement-Wasser-Gemisch
- Bentonit-Zement-Quarzsand-Wasser-Gemisch
- Ton-Zement-Wasser-Gemische

### Aufgaben der einzelnen Komponenten in der Suspension:

- Zement: Druckfestigkeit, Dichtwirkung
- Ton: quellende Eigenschaft, Volumenbeständigkeit der Suspension
- Bentonit: tixotrope Eigenschaften, hoch quellfähig, Volumenbeständigkeit
- Dämm (Zemente mit einem gewissen Bentonitanteil)
- Quarzsand, Quarzmehl: (Beimischung bis zu 50%), gute Wärmeleitfähigkeit

Normale Verpressmaterialien verfügen über eine geringe Wärmeleitfähigkeit (Dämm- oder Zement-Bentonit-Suspensionen  $0,6 - 1,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ).

Thermisch verbesserte Produkte (Thermo-Injektionen) liegen bei  $1,6$  bis  $2,6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ .

## Anmerkungen

Beim Einsatz von Baustellenmischungen und Fertigmischungen ist auf die Anwendung geeigneter Mischvorrichtungen (nicht geeignet: z.B. Hopper, Düsenmischer) zu achten. Mit einem zwischengeschalteten Rührwerk werden Luftblasen aus dem Gemisch entfernt.

In der Praxis werden vielfach zu „dünne“ Suspensionen (zu hoher Wasser-Feststoff-Wert, WF) verpresst (bessere Pumpbarkeit), d.h. vorgegebene Mischungsverhältnisse werden nicht eingehalten.

Zu hohe WF-Werte bedeuten i.d.R. eine Reduzierung des Wärmeübertragungsvermögens und mangelhafte Abdichtung. Der WF-Wert ist massenbezogen. Beim Abbinden wird Wasser ausgefiltert, d.h. die Folge sind Setzungen oder Hohlräume oder freies Wasser in der Ringraumabdichtung. Dies kann zu einer Verringerung der abdichtenden Wirkung, zu verminderter Wärmeübertragung oder zu Frostschäden führen.

Kreiselpumpen können nur geringen Druck aufbauen und sind daher nur für EWS mit geringer Tiefe einsetzbar. Verdrängerpumpen (Schneckenpumpe) sind besser geeignet.

Die Verpressung muss von unten nach oben erfolgen (Kontraktorverfahren). Die Dichte und Viskosität des Verpressmaterials sollten groß genug sein, um beim Aufsteigen die Spülung und das Wasser vor sich her aus dem Bohrloch zu drücken (Vermeidung einer Durchmischung).

Die Verpressung hat unmittelbar nach dem Abteufen der Bohrung(en) und ohne Unterbrechung zu erfolgen.

Verbleibende Verpressrohre müssen mit Suspension gefüllt sein. Falls das Verpressrohr (Verpressgestänge) gezogen wird, muss dies langsam und vorsichtig erfolgen.

Das tatsächliche Volumen für die Hinterfüllung muss größer sein als die Differenz zwischen Bohrlochvolumen und Sondenvolumen und es muss kleiner sein als 200% des prognostizierten Suspensionsverbrauchs.

Im Verpressprotokoll ist aufzuführen: Rezept der Suspension, WF-Wert, Dauer der Verpressung, Soll- und Istwert der Verpressmenge, Verpressdruck, Rückstellproben.

## 7. Nicht wassergefährdende Wärmeträgermedien

Nicht wassergefährdende Wärmeträgermedien, die in Erdwärmesonden eingesetzt werden können, sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und reines Wasser. Im Schadensfall werden weder Luft noch Boden kontaminiert. Bei der CO<sub>2</sub>-Erdwärmesonde liegt ein völlig anderes System vor, als bei den mit den üblichen Wärmeträgerflüssigkeiten betriebenen Systemen.

### 1. CO<sub>2</sub>-Sonde

Wird Gas wie z.B. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Wärmeträgermedium verwendet, so ist kein pumpenbetriebener Kreislauf im Zweirohrsystem erforderlich, sondern der Kreislauf erfolgt selbständig in einem Rohr, aufgrund des Phasenwechsels zwischen flüssigem und gasförmigem Zustand des Wärmeträgerfluids. Ein weiterer Vorteil besteht in den ausgezeichneten Wärmeübertragungseigenschaften von CO<sub>2</sub>.

Für CO<sub>2</sub>-Sonden sind Innendrucke von 30 bar und mehr erforderlich. Das CO<sub>2</sub> ist bei diesem Druck und bei etwa 3°C flüssig und rinnt entlang der Rohrwandung nach unten. Dort erwärmt es sich und verdampft. Beim Phasenwechsel dehnt es sich stark aus und strömt in der Rohrmitte selbständig nach oben zum Wärmetauscher.

Für die Erdwärmesonde werden i.d.R. Kupferrohre verwendet, da CO<sub>2</sub> durch Kunststoffmaterial diffundiert. Häufig werden 1-Rohr-Sonden verwendet, mit denen jedoch im Gegensatz zu den klassischen Erdwärmesonden kein Kühlbetrieb möglich ist.

CO<sub>2</sub>-Sonden können die höchsten Jahresarbeitszahlen (in Abhängigkeit von der Auslegung des Verdampfers) von 4,7 bis 5,3 erreichen. Für CO<sub>2</sub>-Sonden ist eine sehr genaue Auslegung erforderlich. Bei zu starkem Wärmeentzug (Überbewirtschaftung) ist keine oder kaum Verdampfung mehr möglich und somit auch keine Heizleistung.

### 2. Erdwärmesonde mit reinem Wasser

Der Betrieb von Erdwärmesonden mit reinem Wasser hat große Vorteile. Mit reinem Wasser betriebene Sonden können nicht im Frostbereich betrieben werden, wie etwa Sonden mit einem Wasser-Glykol-Gemisch, die entgegen dem Leitfaden z.T. bis tief in den Frostbereich (< -7°C) hinein gefahren werden. Mit Wasser betriebene Erdwärmesonden erfordern daher eine sorgfältige Auslegung der gesamten Anlage.

Im Falle einer Leckage sind bei mit reinem Wasser betriebenen Sonden keine Verunreinigungen des Grundwassers oder Bodens zu befürchten.

Frosterscheinungen bei der Hinterfüllung und dem umgebenden Bodenkörper mit Folgen wie Bewegungen im Untergrund infolge Frost-Tau-Wechsel, Ablösung des Hinterfüllmaterials vom Sondenmaterial, Hebungen und Setzungen im Bereich der Sonde und den damit verbundenen ungünstigen Auswirkungen bezüglich Grundwasserschutz (Beeinträchtigung der Wirksamkeit von Abdichtungen) und bezüglich Energieeffizienz der Erdsondenanlage (reduzierte Wärmeübertragung, ineffizienter Betrieb der Wärmepumpe) sind bei mit reinem Wasser betriebenen Sonden nicht zu befürchten.

Reines Wasser hat außerdem summarisch betrachtet wesentlich bessere hydraulische und thermische Eigenschaften als andere Wärmeträgerflüssigkeiten. Die geringe dynamische Viskosität und Dichte ermöglichen deutliche Energieeinsparungen bei der Umwälzpumpe. Die deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit von Wasser verbunden mit einer hohen Wärmekapazität sorgt dafür, dass mehr Wärme wesentlich besser dem Gebirge entzogen und vom System aufgenommen werden kann.

Mit reinem Wasser betriebene Erdwärmesonden können Jahresarbeitszahlen von 4,8 erreichen, liegen also größenordnungsmäßig im Bereich von CO<sub>2</sub>-Sonden. Sie liegen damit deutlich über Erdwärmesonden mit einem Glykolgemisch.

### 3. Erdwärmesonden mit Wasser-/Glykolgemisch

Die meisten Erdwärmesonden werden mit einem Wärmeträgermedium aus Wasser/Glykol betrieben. Vorteil dieses Wärmeträgermediums ist, dass es im negativen Temperaturbereich eingesetzt werden kann. Dies kann dazu führen, dass Bohr- und Sondenlängen verkürzt werden und durch intensiveren Betrieb (längere Jahresnutzungszeiten), der dann zwangsläufig in den negativen Temperaturbereich führt, kompensiert wird. Im „Leitfaden zur Nutzung der Erdwärme mit Erdwärmesonden“ wird darauf hingewiesen, dass Erdwärmesonden ohne die Gefahr einer Vereisung des Untergrundes zu betreiben sind. Diese Vorgabe wird mit den derzeit am Markt befindlichen Berechnungsverfahren nach VDI 4640 nicht eingehalten, die eine Nutzung der Erdwärmesondenanlagen bis  $-7\text{ °C}$  zulassen.

Neben den erheblich schlechteren hydraulischen und thermischen Randbedingungen (geringere dynamische Viskosität und Dichte sowie Wärmeaufnahmekapazität) ist außerdem die Unbedenklichkeit des Wärmeträgermediums Glykol, das mit einer Reihe von Zuschlagschemikalien versetzt ist, bisher gegenüber dem Grundwasser nicht nachgewiesen.

## 8. Überlange Erdwärmesonden

Immer wieder werden Anträge zum Bau überlanger Erdwärmesonden, teilweise bis in Tiefen von über 250 Metern gestellt. Schwachpunkt derartig tiefer Erdwärmesonden ist das zur Verfügung stehende Rohrmaterial aus Kunststoff. Die am Markt befindlichen Kunststoffrohre (z.B. PE100-RC-Rohre oder vernetzte Polyethylen-Rohre (PE-X)) sind für einen Druck von 15 bar bzw. 16 bar bei mindestens 50 Jahren Lebensdauer (20°C) ausgelegt. Werden diese Druckwerte überschritten, so ist mit Verformungen des Rohres zu rechnen.

Als maßgebliche und systemrelevante Druckbeaufschlagung für das Sondenrohr ist der Differenzdruck zwischen Außendruck und Innendruck (+ dem Systemdruck der geothermischen Anlage) zu sehen. Deshalb muss die Verpressung vollständig sein und es dürfen keinerlei Lunkerstellen im Verpressmaterial auftreten.

Das Hinterfüllmaterial einer Erdwärmesonde hat eine Dichte ( $\rho_v$ ) zwischen  $1,4 - 1,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ; die Dichte des Wärmeträgermediums ( $\rho_w$ ) ist deutlich niedriger und liegt bei  $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . Daher begrenzt der hydrostatische Druckunterschied zwischen flüssigkeitsbefüllter Sonde und der flüssigen Verpresssuspension die maximal mögliche Sondentiefe.

Die maximal mögliche Einbautiefe ( $T_{\max}$ ) einer Erdwärmesonde wird bei einer vorgegebenen Dichte der Verpresssuspension durch den folgenden Zusammenhang begrenzt:

$$T_{\max} = 15 \times 10^5 \text{ Pa} / [(\rho_v - \rho_w) \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2}]$$

$$\text{Dimension: } 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ kg} / (\text{m s}^2)$$

Dies bedeutet, dass bei einer Dichte des Verpressmaterials von  $1,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  die maximale Ausbautiefe unter 200 m liegt.

Nur wenn das Verpressmaterial vollständig aushärtet, kann die Erdwärmesonde ohne die Gefahr einer Beschädigung entleert werden. Handelt es sich jedoch um ein dauerhaft plastisches Verpressmaterial, muss die Sonde dauerhaft druckbeaufschlagt, d.h. mindestens gefüllt, bleiben.

Die Einbring- und Einbauverfahren für überlange Erdwärmesonden sind von der vorgesehenen Tiefe und dem im Bohrloch angetroffenen Wasserstand abhängig. Generell ist vor Beginn der Einbringung der Sonde in das Bohrloch der Wasserstand im Bohrloch zuverlässig zu ermitteln und zu dokumentieren. Ebenso ist der gesamte Einbringvorgang bis zur abschließenden Hinterfüllung lückenlos zu dokumentieren.

## 9. Weitere Informationen

„Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden“ des Umweltministeriums Baden-Württemberg, 2005  
([www.erdwaerme.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9756/](http://www.erdwaerme.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/9756/))

„Wärme ist unter uns, Geothermie in Baden-Württemberg“, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2. Auflage  
2008

VDI Richtlinien 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes

Schulungsmaßnahme Geothermie, Brunnenbaumeister P. Tholen, Oldenburg

Voraussetzungen zur fachgerechten Herstellung von Erdwärmesonden (Teil 2), bbr 01/2007, S. 26-30., D. Urban (2007)



0 m 9,3 °C

- 50 m 11,6 °C

- 100 m 13,8 °C

- 150 m 16,1 °C

- 200 m 18,4 °C

- 250 m 20,7 °C

Mittlere Untergundtemperaturen  
in Baden-Württemberg  
0-300 Meter über dem Meer

Ab 20 Meter Tiefe wirken sich jahres-  
zeitliche Temperaturschwankungen  
nicht mehr aus.