

## **Merkblatt Nr. 3.7/2**

**Stand: Januar 2012**

Ansprechpartner: Referat 93

### **Planung und Erstellung von Erdwärmesonden**

Sole- oder wasserbetriebenen Erdwärmesonden für  
Wärmepumpenanlagen mit einer Heizleistung bis  
maximal 30 kW

#### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Planung</b>	<b>3</b>
1.1	Vorerkundung	3
1.2	Sondenlänge	3
1.3	Bohrtiefe	3
1.4	Sondenabstände	4
1.5	Betriebstemperatur	4
<b>2</b>	<b>Anforderungen an Bohrunternehmer und Bohrung</b>	<b>4</b>
2.1	Anforderungen an Bohrunternehmen	4
2.2	Bohrlochend- und Sondenrohrdurchmesser	6
2.3	Anforderung an die Bohrung	7
<b>3</b>	<b>Bohrlochausbau zur Erdwärmesonde</b>	<b>8</b>
3.1	Sondenrohrmaterial	8
3.2	Vorbereitende Arbeiten am Sondenbündel und Einbringen der Sondenrohre	9
3.3	Sichern der Sonde	11
3.4	Verpressung	12
3.5	Verpressmaterial	12
3.6	Verpressen des Bohrloches nach Sondeneinbau	14
3.7	Druckprobe und Durchflusstest	16
<b>4</b>	<b>Dokumentation nach Abschluss der Bohrarbeiten</b>	<b>16</b>
4.1	Bohrvorgang	16
4.2	Schichtenfolge / Bohrprofil	16
4.3	Ausbauplan	16
4.4	Druck- und Durchflussprüfung	18
4.5	Verpressmaterial und –arbeiten	18

<b>5</b>	<b>Anschlussleitungen</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Abschluss der Arbeiten</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>

## 1 Planung

### 1.1 Vorerkundung

Wesentlich für den Bau einer Erdwärmesonde ist die möglichst genaue Kenntnis des Untergrundes durch Ermittlung des zu erwartenden Schichtenprofils und der hydrogeologischen Verhältnisse (z. B. Lage des Grundwasserspiegels und Position des Grundwasserstauers), die auch im Rahmen des Anzeigeverfahrens anzugeben sind. Dadurch kann die Anlage effizient ausgelegt, können die Herstellungskosten in einem wirtschaftlichen Rahmen gehalten und die Betriebskosten minimiert werden. Die hierfür notwendigen Informationen bzgl. des Untergrundes erhält man von Fachleuten für Hydrogeologie, die z. B. auf Fachliteratur, geologisch-hydrogeologische Karten und auf Erkenntnisse von Bohrungen im näheren Umfeld zurückgreifen.

In Bayern ist der Untergrund der meisten für Bauvorhaben relevanten Gebiete aus hydrogeologischer und wasserwirtschaftlicher Sicht weitgehend bekannt. In Ausnahmefällen, d. h. in Gebieten mit **nicht bekannten hydrogeologischen Verhältnissen**, kann es erforderlich sein, dass vorab eine **Aufschlussbohrung** durchgeführt werden muss, um die zur wasserwirtschaftlichen Beurteilung notwendigen hydrogeologischen Parameter zu erhalten. Die Aufschlussbohrung ist von einem Hydrogeologen zu begleiten und wasserrechtlich zu behandeln. Auf der Grundlage der hydrogeologischen Ergebnisse der Aufschlussbohrung erfolgt die Festlegung der möglichen **Endteufe** und damit notwendigen Anzahl der Bohrungen ggf. in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt.

### 1.2 Sondenlänge

Aus der Kenntnis des Schichtenprofils und der hydrogeologischen Verhältnisse lassen sich unter Berücksichtigung der jährlichen Betriebsstunden Anhaltswerte für die spezifische thermische **Entzugsleistung** (Watt pro Meter Sondenlänge) ableiten. Daraus und in Verbindung mit der für das betreffende Projekt ermittelten Wärmepumpenheizleistung sowie der dazugehörigen Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe lässt sich gem. VDI 4640 die **erforderliche Sondenlänge** ermitteln.

### 1.3 Bohrtiefe

Ob die für den Wärmebedarf erforderliche Gesamtsondenlänge mit einer oder mehreren Bohrungen erreicht werden kann, ist neben der Gesteinsbeschaffenheit wesentlich vom Grundwasserstockwerksbau abhängig. Eine Durchteufung von stockwerkstrennenden Schichten oder die Erschließung tieferer Stockwerke sind grundsätzlich nicht zulässig, weil die derzeit beim standardüblichen Erdwärmesondenbau verwendeten Materialien und Herstellungsmethoden eine zuverlässige Abdichtung nicht regelmäßig gewährleisten. So ist z. B. eine wasserdichte Haftung der Verpressmaterialien an den glatten Sondenrohren aus Kunststoff nicht gegeben. Daher entstehen selbst bei sorgfältig durchgeführter Verpressung **Wasserwegsamkeiten entlang der Sondenrohre**. Diese hydraulische Verbindung ist zwar zunächst gering, im Laufe der Zeit gewinnt sie aber immer mehr an Bedeutung, insbesondere bei großen Potenzialunterschieden (stark unterschiedliche Wasserspiegellhöhen in den erbohrten Grundwasserleitern).

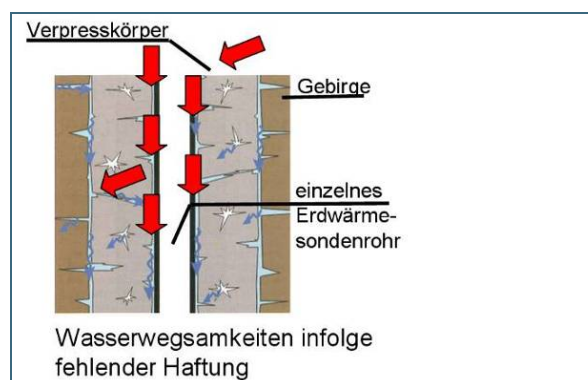


Abb. 1:  
Wasserwegsamkeiten  
infolge fehlender Haf-  
tung und Suffosion des  
Verpressmaterials  
(Quelle: LfU)

Weitere Umstände, die eine dauerhaft dichte Verpressung bzw. die zentrische Lage des Sondenbündels (mehrere - i. d. R. vier - parallele Sondenrohre ggf. mit Verpressrohr) in Frage stellen und damit i. d. R. eine Begrenzung der Bohrlochtiefe erfordern, sind:

- Kräfte infolge behinderter Dehnung der Sondenrohre durch Temperaturänderungen aus dem Abbindeprozess der Verpresssuspension (z. B. beträgt die unbehinderte Längenausdehnung eines 100 m langen PE 80/100 Rohres bei Temperaturänderung von 10 K ca. 20 cm), sowie betrieblich bedingter Temperaturschwankungen,
- Verformungen des Verpresskörpers infolge falsch terminierter Druckprüfung (z. B. Ringspaltbildung durch eine zu späte Druckprüfung nach Beginn des Abbindevorgangs),
- Auftriebskräfte, die während und nach dem Verpressvorgang auf das Sondenbündel wirken und dadurch eine stauchende Wirkung ausüben.

#### 1.4 Sondenabstände

Erdwärmesonden können sich bei zu geringem **Abstand** gegenseitig beeinträchtigen. Zur Vermeidung negativer Einflüsse wird gem. VDI 4640 empfohlen, dass zu benachbarten Sonden ein Mindestabstand von 6 m eingehalten wird. Aufgrund von unvermeidbaren, mit der Tiefe zunehmenden Bohrlochrichtungsabweichungen sollten die Abstände in Abhängigkeit von der Sondentiefe vergrößert werden. Zur **Grundstücksgrenze** wird ein Abstand von mindestens 3 m empfohlen.

In den „Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren“ vom Dezember 2011 werden Sondenabstände untereinander von 10 m und zu Grundstücksgrenzen von 5 m genannt. Eine nachbarschaftliche Abstimmung, auch bei angrenzenden öffentlichen Flächen, ist sinnvoll.

Darüber hinaus ist bei Erdwärmesonden sowie bei den horizontal verlegten Vor- und Rücklaufleitungen gemäß VDI 4640 ein Mindestabstand von 0,7 m zu **Ver- und Entsorgungsleitungen** (z. B. Trinkwasserleitungen, Abwasserkanälen, Fernwärmeleitungen) einzuhalten, um Beschädigungen im Rahmen der Bohrarbeiten sowie durch ggf. auftretende Hebungen bzw. Setzungen infolge betriebsbedingter Frost-Tau-Wechsel zu vermeiden.

#### 1.5 Betriebstemperatur

Es muss sichergestellt sein, dass die Temperatur der aus der Wärmepumpe in die Sonde strömenden Wärmeträgerflüssigkeit die im nächsten Abschnitt vorgegebenen Temperaturen nicht über- bzw. unterschreitet. Hierfür ist neben einer fachgerechten Dimensionierung auch eine der Dimensionierung entsprechende Betriebsweise erforderlich. Soweit ein Nachweis für einen ausreichenden Frost-Tau-Wechselwiderstand der verwendeten Verpressmaterialien nicht erbracht werden kann (s. a. Abschnitt 3.5), darf auch bei Spitzenlast eine Temperatur von 0°C nicht unterschritten werden. Maßgebend ist hier die Temperatur am Austritt der Wärmepumpe.

Gemäß VDI 4640 sind Auswirkungen auf die Biologie des Grundwassers bei kleinen Anlagen und einer maximalen Temperaturänderung von  $\pm 6$  K bei Beachtung der max. Grundwassertemperatur von 20°C hinnehmbar. Bei der Wärmeeinspeisung in den Untergrund über die Erdwärmesonde ist neben der max. zulässigen Grundwassertemperatur auch auf geeignete Rohrmaterialien zu achten.

## 2 Anforderungen an Bohrunternehmer und Bohrung

### 2.1 Anforderungen an Bohrunternehmen

Grundsätzlich ist ein fachkundiges Ingenieurbüro für Hydrogeologie mit der Bauleitung zu beauftragen. Bei Bohrunternehmen, die nach DVGW W 120 ganzheitlich oder in den Gruppen G1 und G2 zer-

tifiziert sind oder die eine entsprechende Qualifikation für die Erstellung von Erdwärmesonden besitzen, ist die Bauleitung durch ein Fachbüro nicht erforderlich. Zukünftig werden Zertifizierungen für Bohrunternehmen in der Geothermie nach Regelungen im neuen DVGW W 120-2 durchgeführt, das 2012 in Kraft treten soll.



Abb. 2:  
Bohrung für Erdwärmesonden (Quelle: LfU)

Erlaubnispflichtige Anlagen sind von einem Privaten Sachverständigen in der Wasserwirtschaft (PSW nach Art. 65 BayWG) abzunehmen. Eine Abnahme von später nicht mehr einsehbaren Anlagenteilen ist nur baubegleitend möglich.

Das Bohrunternehmen hat die aktuellen **einschlägigen Regelwerke** zu beachten. Es hat größte Sorgfalt bei der Einrichtung der Baustelle und während des Bohr- und Verpressvorganges walten zu lassen, um unnötige **Beeinträchtigungen des Untergrundes und des Grundwassers** zu vermeiden. Hierzu ist das bauausführende Unternehmen verpflichtet **qualifiziertes Personal** einzusetzen. Insbesondere ist Folgendes sicherzustellen:

- Das Datum des genauen Bohrbeginns ist der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde / dem zuständigen Bergamt und dem Wasserwirtschaftsamt schriftlich, spätestens fünf Werktage vor Bohrbeginn mitzuteilen. Änderungen des Termins sind mit den Behörden abzustimmen.
- Der Kreisverwaltungsbehörde und dem Wasserwirtschaftsamt ist ein verantwortlicher Bauleiter zu benennen, der entsprechende Erfahrung bei der Ansprache der Bodenproben und der Erstellung von Erdwärmesonden nachweisen kann. Er ist zudem Ansprechpartner für die Koordination mit der Kreisverwaltungsbehörde und ist verantwortlich für das ausführende Unternehmen.
- Für die Bohrarbeiten ist ein Brunnenbauermeister einzusetzen. Alternativ dazu kann auch eine Fachkraft für „Bohrungen für geothermische Zwecke und Einbau von geschlossenen Wärmeüberträger-Systemen Erdwärmesonden“ eingesetzt werden.
- Von Bohrgeräten, Bohrgestänge und Zubehör dürfen keine wassergefährdenden Stoffe in den Untergrund und damit in das Grundwasser eingetragen werden. Für ggf. erforderliche Spü-

lungsfüssigkeiten zur Stabilisierung des Bohrloches ist das DVGW Arbeitsblatt W 116 zu beachten. Als Schmiermittel ist beim Imlochhammer Wasser zu verwenden, in Ausnahmefällen können in Absprache mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt biologisch abbaubare Schmiermittel verwendet werden.

- Auf der Baustelle sind Materialien und Geräte für Sofortmaßnahmen im Störfall (z. B. Brand, Ölunfall) vorzuhalten.
- Für den Fall, dass bei nicht genau bekannter Geologie wider Erwarten stark gespannte bis artische Verhältnisse angetroffen werden, sind geeignete Geräte und Materialien (z. B. Mischer, Zement, Bentonit und Schwerspat) zum sicheren bzw. dauerhaften Abdichten des Bohrloches auf der Baustelle vorzuhalten.
- Kann eine Bohrung entgegen der Planung nicht zur Sonde ausgebaut werden, ist das Bohrloch bis zur Geländeoberkante mit Wasser sperrenden Verpressmaterialien dauerhaft und dicht zu verpressen.
- Die notwendigen Schweißarbeiten im Bereich der Anschlussleitungen für die Sonde (am Sondenkopf) dürfen nur durch besonders eingewiesenes und für das entsprechende Rohrmaterial zertifiziertes Personal ausgeführt werden.

## 2.2 Bohrlochend- und Sondenrohrdurchmesser

Der Bohrlochenddurchmesser ist so zu wählen, dass um das Sondenbündel (mehrere - i. d. R. vier parallele Sondenrohre ggf. mit Verpressrohr) ein **Ringraum von mindestens 30 mm** verbleibt (Bohrlochenddurchmesser  $\geq$  Sondenbündeldurchmesser + 60 mm), bei Lockergesteinsbohrungen besser 40 mm (entsprechend Sondenbündeldurchmesser + 80 mm).

Bei der Ermittlung des Bohrlochenddurchmessers ist der Durchmesser des Sondenbündels ggf. durch Zuschläge aufgrund des Sondenfußes und/oder verwendeter Innenabstandshalter (Abstandshalter der Sondenrohre und ggf. des Verpressrohres untereinander) sowie Zentriereinrichtungen für den zentrischen Einbau des Sondenbündels im Bohrloch zu berücksichtigen.

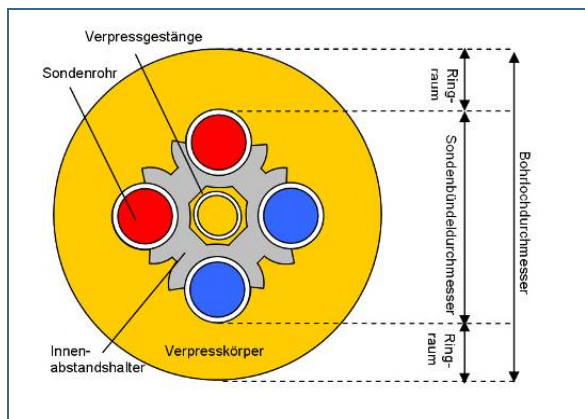


Abb. 3:  
Schemaschnitt durch  
Sonde (Quelle: LfU)

Ein wesentlicher Faktor für eine optimale Wärmeübertragung vom Erdreich auf die Wärmeträgerflüssigkeit ist die Strömungsgeschwindigkeit der Wärmeträgerflüssigkeit im Sondenrohr, die bei minimaler Pumpenleistung noch im Bereich der turbulenten Strömung liegen soll. Demzufolge ist unter Beachtung der berechneten Sondenlänge der passende Rohrdurchmesser und die entsprechend dimensionierte Umwälzpumpe zu wählen. In der Praxis sind **Außendurchmesser** der Sondenrohre von 32 mm bei Erdwärmesonden üblich. Der **Durchmesser des Sondenbündels** beträgt – bei empfohlener Verwendung von Innenabstandshaltern – ca. 110 mm. Somit ergeben sich unter Berücksichtigung von Innenabstandshaltern die mindestens einzuhaltenden Bohrlochenddurchmesser für Sondenrohrdurch-

messer von 32 mm mit 170 mm. Ohne Innenabstandshalter sind die Bohrlochenddurchmesser für Sondenrohrdurchmesser von 32 mm mit **mindestens 150 mm** einzuhalten. Zum Erreichen des erforderlichen Bohrlochenddurchmessers ist je nach Bohrverfahren und angestrebter Endtiefe ggf. ein entsprechend größer dimensionierter Bohranfangsdurchmesser zu wählen.

In besonderen Fällen sind von den angegebenen Maßen in Abstimmung mit der Kreisverwaltungsbehörde bzw. dem Wasserwirtschaftsamt Abweichungen möglich. So sind z. B. bei standfesten und nicht quellfähigen Böden auch geringfügig kleinere Bohrlochenddurchmesser möglich. Der Mindestdurchmesser von 150 mm soll allerdings auch bei solchen Ausnahmefällen nicht unterschritten werden.

Die Vorteile so dimensionierter Bohrungen zeigen sich sowohl beim komplikationsarmen Sondereinbau als auch in den thermisch wie hydraulisch optimierten Eigenschaften der Sonde.

### 2.3 Anforderung an die Bohrung

Durch die Bohrung müssen ein sicherer Sondereinbau und eine ordnungsgemäße Verpressung auf der gesamten Bohrlochlänge gewährleistet sein. Unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz sind solche Geräte und Verfahren einzusetzen, die den geologisch-hydrogeologischen Verhältnissen am Standort gerecht werden. Zur Erstellung einer ordnungsgemäßen und damit qualitativ hochwertigen Erdwärmesonde ist bei den Bohrarbeiten Folgendes **zu beachten**:

- **Ausreichender Bohrlochenddurchmesser** – Je nach Bohrverfahren ist ein entsprechend dimensionierter Bohranfangsdurchmesser erforderlich (s. o.).
- **Größtmögliche Richtungs- und Kaliberhaltigkeit** – Dadurch ergeben sich Erleichterungen für einen beschädigungsfreien, zentrierten Einbau des Sondenbündels sowie die Einhaltung des notwendigen Abstands zu benachbarten Erdwärmesonden und dadurch thermisch effizientere Anlagen.
- **Ausreichende Bohrlochtiefe unter Berücksichtigung der zulässigen max. Bohrtiefe** – Diese ist erforderlich zum sicheren Erreichen der planmäßigen Einbautiefe im Hinblick auf Nachfall im Bohrloch vor und während des Sondereinbaus.
- **Fachgerechter Einsatz von Bohrspülmittelzusätzen** – Dieser ist fallweise zum problemlosen Bohren bzw. zum Bohrgutaustrag und zur Gewährleistung der Standfestigkeit des offenen Bohrloches beim Sondereinbau bis zum Abschluss des Verpressvorgangs erforderlich. Das DVGW Merkblatt W 116 ist zu beachten.
- **Maßnahmen bei unerwarteten hydrogeologischen Verhältnissen** – Werden während der Bohrung hydrogeologische Verhältnisse angetroffen, die von den im Genehmigungsverfahren beschriebenen Verhältnissen gravierend abweichen (z. B. artesisch gespanntes Grundwasser, Gaszutritte, Hohlräume, quellfähige Schichten, Altlasten), so sind sofort geeignete Erstmaßnahmen einzuleiten – keinesfalls darf die Erdwärmesonde dann eingebaut werden. Bei Antreffen von artesischen Verhältnissen ist das Bohrloch i. d. R. sofort abzudichten. Vereinzelt können Gasvorkommen – auch sehr oberflächennah – vorkommen.

Alle derartigen Fälle sind der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde bzw. dem Wasserwirtschaftsamt unverzüglich zu melden und im Bohrprotokoll zu dokumentieren. Das weitere Vorgehen ist mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

Außergewöhnliche Befunde, z. B. hinsichtlich der Beschaffenheit und Farbe des Baugrunds, des Geruches oder der Färbung des Wassers, Wasser- oder Bodenauftrieb, starkem Ansteigen oder Absinken des Wasserspiegels, Gasvorkommen, Hohlräumen im Baugrund, sind zu beobachten, der Kreisverwaltungsbehörde unverzüglich anzuzeigen und zu dokumentieren. Die notwendigen Sicherungsmaßnahmen hat der Bohrunternehmer unverzüglich durchzuführen.

- **Abbruchkriterien der Bohrung** – Dies sind z. B. große Hohlräume oder Spülungsverluste, die ein späteres fachgerechtes Verpressen in Frage stellen, artesisch gespanntes Grundwasser sowie das unerwartete Erreichen eines Grundwasserstauers vor der festgelegten Endtiefe.
- **Fachgerechte und sichere Baustelleneinrichtung** – Es sind u. a. eine geeignete Mischanlage, Verpresspumpen und Messeinrichtungen zur Dichtebestimmung von Spülung und Verpressuspension vorzuhalten und einzusetzen. Die Bohrspülung ist über Absetzcontainer und Spülungswannen zu leiten.  
Das Anlegen von Spülgruben bzw. Spülteichen ist nicht zulässig.
- **Probenahme** – Für die Erstellung des Schichtenprofils sind mindestens alle 2 m und bei jedem Schichtwechsel Bohrgutproben zu entnehmen, fachgerecht (z. B. in Beuteln, Bechern oder Fächerkästen) zu verpacken (siehe DIN EN ISO 22475-1) und für eine ggf. erforderliche Aufnahme durch das Bayerische Landesamt für Umwelt – Wirtschaftsgeologie bzw. die zuständige Kreisverwaltungsbehörde/wasserwirtschaftliche Fachbehörde vom Bauherrn für mindestens sechs Monate nach Abschluss der Bohrarbeiten vorzuhalten. Im Schichtenprofil sind zudem Angaben zum Wasserstand und zu Problemzonen etc. zu dokumentieren.
- **Plausibilitätskontrolle der spezifischen Wärmeentzugsleistung** – Anhand des Schichtenprofils kann der Planer bzw. der Bauherr die Bemessungsgrundlagen kontrollieren und dadurch prüfen, ob mit der erreichten Sondenlänge die erforderliche Entzugsleistung dauerhaft gewährleistet ist.
- **Entsorgung** – Anfallendes Bohrgut und die Bohrspülung sind fachgerecht zu entsorgen. Dies gilt insbesondere auch für das bei Imlochhammerbohrungen ggf. anfallende mit Bohrgut vermischte Grundwasser. Die Möglichkeit der Ableitung dieses Wassers in ein Oberflächengewässer bzw. Abwasserkanal ist mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt bzw. dem Kanalnetz-/Kläranlagenbetreiber abzustimmen.  
Das Verfüllen des Bohrloches mit Bohrgut ist nicht zulässig.

### 3 Bohrlochausbau zur Erdwärmesonde

#### 3.1 Sondenrohrmaterial

Die Erdwärmesondenrohre sind einschließlich des Sondenfußes werkseitig vorgefertigt und in einem Stück in der für das Bohrloch vorgesehenen Länge anzuliefern. Bauseits dürfen Rohrverbindungen nur im Bereich der Anschlussleitung der Erdwärmesonden (außerhalb der Bohrung) erstellt werden. Soweit wassergefährdende Stoffe als Wärmeträgerflüssigkeit verwendet werden, dürfen lösbare Verbindungen nur in zugänglichen dichten Kontrollschächten eingesetzt werden. Außerhalb derartiger Kontrollschächte sind nur unlösbare, geschweißte Verbindungen zu verwenden. Für die Schweißverfahren sind die Richtlinien des DVS - Deutscher Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e.V verbindlich zu beachten. Derzeit wird geprüft, ob mit geeigneten Materialien zukünftig auch Pressverbindungen eingesetzt werden können, die den Anforderungen von geschweißten Verbindungen entsprechen.

Das Zusammensetzen bzw. Zusammenschweißen einzelner Sondenstücke ist abgesehen vom horizontalen Anschluss des Sondenbündels nicht zulässig. Zur Vermeidung von möglichen Leckagen infolge von fehlerbehafteten Kunststoffverschweißungen auf der Baustelle muss auch der Sondenfuß werkseitig hergestellt und werkseitig mit den Sondenrohren verbunden bzw. verschweißt werden. Die verwendeten Sondenfüße müssen mindestens die gleiche Druckbeständigkeit wie die Sondenrohre aufweisen.



Die verwendeten Materialien der Sondenrohre müssen dicht und beständig sein. Die Einwirkung punkt- oder linienförmiger Lasten auf die Außenoberfläche von Rohren wird in den für Rohrleitungsbau relevanten Normen als zeitstandverkürzend angesehen. Deshalb wird dort z. T. gefordert, die Rohre so zu verlegen und einzubetten, dass während des Betriebs keine Punkt- oder Linienlasten auf die Rohrwand einwirken.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Widerstandsfähigkeit des Sondenrohrmaterials gegen Belastungen im Rahmen der Erstellung und des Betriebes sind punktlastbeständige Erdwärmesonden z.B. aus vernetztem Polyethylen (PE-X) oder unvernetztem Polyethylen PE 100-RC (PE-RC) mit erhöhtem Widerstand gegenüber langsamem Rissfortschritt (erhöhte Spannungsrissbeständigkeit) und gegenüber Punktlasten zu verwenden. Erhöht spannungsrissbeständiges Polyethylen zeichnet sich durch eine Standzeit von mind. 3300 h im FNCT-Test nach ISO 16770 bzw. im 2NCT-Test nach DIN EN 12814-3 (80°C; 2 % Arkopal N-100; 4 N/mm<sup>2</sup>) aus. Die Punktlastbeständigkeit und die Spannungsrissbeständigkeit korrelieren miteinander. Bei Einhaltung der o. g. Spannungsrissbeständigkeit kann von einer ausreichenden Punktlastbeständigkeit ausgegangen werden.

Soweit als Werkstoffe reine Kohlenwasserstoff-Polymere wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polybutylen (PB) verwendet werden, welche die oben genannten erhöhten Anforderungen an die Spannungsrissbeständigkeit nicht erfüllen, sind die Sondenrohre im Bohrloch und beim Einbringen besonders zu schützen. Dies kann durch Verwendung von Zentriereinrichtungen (empfohlener Maximalabstand 2 m in Sondenlängsrichtung) erfolgen, da dadurch ein Anliegen der Sondenrohre an der Bohrlochwand minimiert wird.

Zu den oben genannten Sondenrohrmaterialien kann ohne weiteren Nachweis alternativ auch V4A verwendet werden. Bei der Verwendung von V2A ist der Nachweis zu erbringen, dass für den anstehenden Boden bzw. für den Kontakt mit dem anstehenden Grundwasser eine ausreichende dauerhafte chemische Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion gewährleistet ist.

Es wird empfohlen nur Sondenmaterial zu verwenden, das einem Qualitätssicherungsverfahren unterliegt.

### 3.2 Vorbereitende Arbeiten am Sondenbündel und Einbringen der Sondenrohre

Innenabstandshalter und Zentriereinrichtungen werden an die Sondenrohre angebracht. Innenabstandshalter sollen das Anliegen der Sondenrohre aneinander, Zentriereinrichtungen das Anliegen der Sondenrohre an der Bohrlochwand vermeiden. Es wird jeweils ein max. Abstand der Innenabstandshalter bzw. Zentriereinrichtungen in Sondenlängsrichtung von 2 m empfohlen.

**Innenabstandshalter** vermindern den thermischen Kurzschluss zwischen Vor- und Rücklauf und verbessern die thermische Übertragungsleistung. Der Verzicht auf Innenabstandshalter kann – nach Berechnungen – zu einer reduzierten Leistungsfähigkeit der Erdwärmesondenanlage zwischen 5 und 8 % führen. Dies ist ggf. bei der Planung der Erdwärmesondenanlage zu berücksichtigen. Zudem kann beim Verzicht auf Innenabstandshalter die Gewährleistung des Sondenrohrherstellers erlöschen.



Abb. 4:  
Innenabstandshalter  
mit Aussparung für ei-  
ne zentrische  
Gestänge-/ Verpress-  
rohrführung (Quelle:  
LfU)

Innenabstandshalter werden oft in Kombination mit **Zentriereinrichtungen**, die ein schadfreies Einbringen der Sondenrohre in das Bohrloch erleichtern und zugleich die betriebsbedingten Belastungen reduzieren, angeboten.

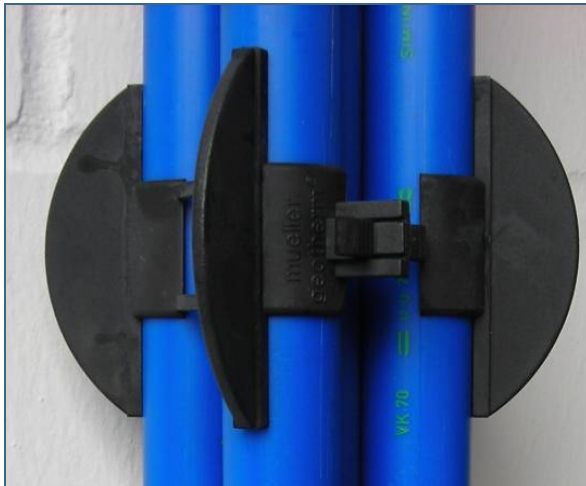


Abb. 5:  
Zentriereinrichtungen  
(Quelle: LfU)

Für die fachgerechte Verpressung (s. u.) wird vielfach mit dem Einbau des Sondenbündels ein zwischen den Sondenrohren positioniertes **Verpressrohr** aus Kunststoff bis Endteufe mitgeführt, durch das die Verpresssuspension im Kontraktor-Verfahren eingepresst werden kann. Dieses Verpressrohr verbleibt i.d.R. im Bohrloch.

Wird ein Verpressgestänge eingesetzt, sind Innenabstandshalter mit Aussparungen für eine **zentrische Gestängeführung** einzubauen, da sonst, beim Ziehen des Verpressgestänges die Sondenrohre unmittelbar aneinander liegen können, was zu einer Verminderung der Sondenleistung führen könnte.. Zugleich kann dadurch die Gefahr von Beschädigungen an den Sondenrohren beim Ziehen des Verpressgestänges reduziert werden.

Vor dem Einbringen der Sonde in das Bohrloch ist das Rohrmaterial durch **Sichtprüfung** auf eventuelle Beschädigungen zu prüfen. Nach VDI 4640 wird zudem bereits vor Einbau des Sondenbündels eine Dichtheits- und Durchflussprüfung empfohlen.

In Bereichen, in denen Grundwasser angetroffen wird bzw. die Bohrung im Grundwasserleiter steht, kann neben dem Beschweren der Sonde durch **Zuggewichte** auch das **Füllen der Sondenrohre mit Wasser** den Auftrieb der Rohre reduzieren. Ist die Bohrung trocken, sollte auf die Wasserbefüllung der Sondenrohre beim Einbau bis vor dem Verpressen zunächst ganz verzichtet werden, da sonst, je

nach Länge, die Zugkraft beim Herablassen der Sonde und die Druckverhältnisse am Sondenfuß zu groß werden können. Vor dem Verpressvorgang ist die Sonde vollständig mit Wasser zu füllen. Bei tiefen, trockenen Bohrungen (i. d. R. über 150 m) sollte aufgrund der hydrostatischen Druckverhältnisse das vollständige Befüllen der Sondenrohre mit Wasser erst Zug um Zug während des Verpressvorgangs erfolgen. Insbesondere ist hierbei darauf zu achten, dass die zulässigen Kräfte auf die Sondenrohre, auf den Sondenfuß und auf die werkseitigen Schweißverbindungen nicht überschritten werden.



Abb. 6:  
Zuggewicht (Quelle:  
LfU)

Das Einbringen des Sondenbündels sollte über eine Haspel, die z. B. in ca. 2 m Höhe über dem Bohrloch am Bohrgerät oder Ladekran befestigt ist, erfolgen. Die **Innenabstandshalter** werden oftmals abschnittsweise im Zuge des Einbringens des Sondenbündels angebracht. Ferner wird ein unmittelbar über dem Sondenfuß befestigtes Verpressgestänge bzw. Verpressrohr, auf dem vorab die Innenabstandshalter aufzufädeln sind, zwischen den einzelnen Sondenrohren kontinuierlich eingeführt.

Keinesfalls sollte das Sondenbündel vor dem Einbau der Länge nach ausgelegt und ohne Haspel eingeschoben werden, da die Gefahr besteht, dass die Sondenrohre durch das Schleifen am Boden und insbesondere an der Bohrlochkante beschädigt werden.



Abb. 7:  
Auf die Baustelle angelieferte Sondenbündel werden werkseitig aufgerollt und auf die vorgesehene Länge mit Sondenfuß und Öse zur Befestigung eines Zuggewichts gefertigt. (Quelle: LfU)

### 3.3 Sichern der Sonde

Bereits während des Einbringens des Sondenbündels ist darauf zu achten, dass die offenen Enden der einzelnen Sondenrohre sicher verschlossen sind, damit keine Verschmutzungen in die Sondenrohre eindringen können. Dazu können z. B. mit Klebeband befestigte Verschlusspfropfen verwendet werden. Dieser Schutz ist bis zum endgültigen Anschluss der Sonde an das Verteilersystem zu belassen.



Abb. 8:  
Gesicherte Erdwärmesonde nach Abschluss der Zementation (Quelle: LfU)

### 3.4 Verpressung

Eine qualitativ hochwertige Verpressung des Bohrloches gewährleistet einen guten Wärmeübergang zwischen Erdwärmesonde und Erdreich. Zugleich schützt eine gute Verpressung z. B. vor dem Eindringen von verunreinigtem Oberflächenwasser in den Untergrund bzw. in das Grundwasser, vor Setzungen im Bohrlochbereich und vor Beschädigung des Sondenrohres im Betrieb.

Die Verfüllung des Bohrloches mit Schüttgütern (z. B. Filterkies) oder Bohrgut genügt diesen Anforderungen nicht. Der Einsatz von Tonpellets ist nur zulässig, wenn die Eignung im Einzelfall nachgewiesen wird, insbesondere bezüglich Dauerhaftigkeit.

### 3.5 Verpressmaterial

Die Verpressung der Sonden darf nur mit wasserhygienisch unbedenklichen Verpressmaterialien erfolgen. Verwendete Verpressmaterialien sollten im ausgehärteten Zustand eine Mindestdruckfestigkeit von  $0,6 \text{ N/mm}^2$  aufweisen, um ausreichend widerstandsfähig gegen Erosion zu sein und um die Gefahr einer Ringspaltbildung im Rahmen der Druckprobe zu minimieren.

Es ist sicherzustellen, dass mit dem verwendeten Verpressmaterial im eingebauten Zustand eine dauerhafte Abdichtung erfolgt. Hierzu ist für den Verpresskörper im abgeordneten Zustand ein Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f \leq 10^{-8} \text{ m/s}$  nach DIN 18130 T1 nachzuweisen.

Handelsübliche werkseitig hergestellte **Fertigprodukte**, die auf der Baustelle nur noch mit einer definierten Menge Wasser angemischt werden müssen, vereinfachen das Einhalten der Qualitätsanforderungen unter Beachtung

- der Rezepturvorgaben (auf genaue Wasserdosierung achten),
- der vorgeschriebenen Mischtechnik sowie
- des Einsatzes geeigneter Verpresspumpen

und gewährleisten konstante Eigenschaften. Zum Nachweis der Dichtwirkung bzw. der Druckfestigkeit des Materials ist in der Regel das Datenblatt des Herstellers ausreichend.

In jedem Fall sind die vom Hersteller vorgegebenen Rezepturen exakt einzuhalten. Zu hohe Wasser-/Feststoffwerte (W/F-Werte) reduzieren das Wärmeübertragungsvermögen sowie die Abdichtwirkung und erhöhen die Gefahr von Setzungen, Ausspülungen und Eiskeilbildung. Eine ineffizient arbeitende Erdwärmesondenanlage ist dann i. d. R. die Folge.

Grundsätzlich ist **Hochofenzement (HOZ, CEM III/B)** als Bestandteil des Verpressmaterials zu verwenden. Ggf. sind aggressive Bestandteile im Grundwasser (z. B. Sulfat, Chlorid, Kohlensäure) zu berücksichtigen und diesbezüglich hoch **widerstandsfähige Baustoffe** zu verwenden. Für die Abschätzung des Angriffspotentials eines Grundwassers kann die DIN 4030-1 herangezogen werden. Dort

sind betonangreifende Wasserinhaltsstoffe nach Konzentrationsbereichen und Angriffspotentialen definiert.

Für eine dauerhaft widerstandsfähige Verpressung und damit für eine gleichbleibende Leistungsfähigkeit der Sonde ist nachzuweisen, dass sich die Eigenschaften des verwendeten Verpressmaterials im Rahmen des Betriebs nicht verschlechtern. Soll eine EWS so betrieben werden, dass mit Frost-Tau-Wechseln zu rechnen ist, ist zudem ein ausreichender Widerstand bzgl. Frost-Tau-Wechsel Einflüssen nachzuweisen.

Z. Zt. gibt es keine standardmäßigen Prüfbedingungen für Verfüllmaterial von Erdwärmesondenanlagen, deshalb sind die Anlagen in einem frostfreien Betrieb zu fahren. Werden zukünftig standardmäßige Prüfbedingungen für ausreichende Widerstandsfähigkeit gegenüber den betriebsbedingten Belastungen festgesetzt (z. B. DIN-Norm), ist der Nachweis des Herstellers ausreichend.

Zudem ist die Einhaltung der Dichte und des W/F-Wertes (Wasser/Feststoff-Wertes) beim Anmischen der Suspension zu gewährleisten. Dies ist entsprechend zu dokumentieren und mit einer repräsentativen Rückstellprobe der Verpresssuspension je Bohrung zu belegen (vgl. 3.6).

Der Nachweis des o. g. Widerstandes gegen Frost-Tauwechselbelastungen ist entbehrlich, soweit gewährleistet wird, dass die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit nie unter 0°C liegt. Hierzu kann z. B. ein Frostwächter eingesetzt werden, der automatisch abschaltet, sobald die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit beim Austritt aus der Wärmepumpe unter 0°C liegt. Der Frostwächter ist am Austritt der Wärmeträgerflüssigkeit aus der Wärmepumpe zu installieren.

**Baustellenmischungen**, bei denen die Suspension direkt auf der Baustelle aus mehreren Einzelkomponenten mit Wasser hergestellt wird, bergen die Gefahr von Fehldosierungen und damit Inhomogenitäten im Verpresskörper, wodurch die gewünschten Eigenschaften nicht optimal erreicht werden können. Zudem sind bei Baustellenmischungen zusätzliche Nachweise hinsichtlich der Qualitätseigenschaften (z. B. Dichtwirkung, Druckfestigkeit, Frost-Tau-Wechselwiderstandsfähigkeit) im Rahmen des wasserrechtlichen Verfahrens zu erbringen, z. B. über Laborversuche. Derartige Laborversuche und die dazugehörigen Testate können bei unabhängigen Instituten oder Fertigbeton- bzw. Zementherstellern in Auftrag gegeben werden. Es ist zu gewährleisten, dass die im Rahmen der o. g. Prüfungen der Qualitätseigenschaften verwendete Rezeptur und Mischtechnik nachweislich auf der Baustelle eingehalten und verwendet werden.

Aus den oben genannten Gründen sollten **Fertigmischungen (z.B. Sackware) anstelle von Baustellenmischungen** verwendet werden.

Die Dichte der Verpresssuspension darf **1,3 kg/l** nicht unterschreiten, um zu gewährleisten, dass nach Beendigung der Bohrarbeiten evtl. im Bohrlochringraum verbliebene Bohrspülung ohne Mischzonen verdrängt wird.

Problematisch können Suspensionen mit sehr hoher Viskosität sein, da diese aufgrund ihrer Dickflüssigkeit eine vollständige Verpressung der „Zwickelräume“ im Bereich des Sondenbündels nicht sicher gewährleisten.

**Thermisch verbessertes Verpressmaterial** bietet den Vorteil der besseren Wärmeleitfähigkeit. Inzwischen sind Verpressmaterialien (Fertigmischungen) mit Wärmeleitfähigkeiten bis zu  $\lambda = 2,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  verfügbar, die somit im oberen Bereich der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit des anstehenden Gebirges ( $\lambda = 2,0$  bis  $2,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) liegen. Die höheren Investitionskosten, die bezogen auf die Gesamtkosten des Bauwerks gering sind, werden durch einen besseren Wirkungsgrad und somit Einsparungen von Betriebskosten mehr als kompensiert.

**Widerstandsfähigkeit des Verpresskörpers** – Nur durch den maßvollen Betrieb der Erdwärmesondenanlage können die erforderlichen Eigenschaften des Verpresskörpers – gute thermische Anbindung an das Gebirge sowie abdichtende Wirkung – dauerhaft erhalten bleiben.

### 3.6 Verpressen des Bohrloches nach Sondeneinbau

Durch fachgerechtes Verpressen werden Luft einschlüsse im Verpresskörper, die die Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials und damit die Leistungsfähigkeit der Sonde reduzieren und die aus wasserwirtschaftlicher Sicht erforderliche sichere Abdichtung des Bohrloches in Frage stellen können, vermieden. Zugleich wird mit einer fachgerechten Verpressung die Gefahr von Setzungen und daraus resultierenden Schäden reduziert.

Nach Einbau des Sondenbündels ggf. einschließlich Innenabstandshaltern, Zentriereinrichtungen und Verpressrohr bzw. -gestänge kann eine **fachgerechte Verpressung** wie folgt durchgeführt werden:

- Das Bohrloch bzw. der Bohrlochringraum ist **unmittelbar nach dem Einbringen** der Erdwärmesonde vollständig und lückenlos mit einer Suspension vom Sondenfuß bis zur Oberfläche im Kontraktorverfahren von unten nach oben zu verpressen.
- Durch die hohe Dichte des Verpressmaterials wirken auf das Sondenbündel hohe Auftriebskräfte. Um das Auftreiben des Sondenbündels zu vermeiden, werden die Sondenrohre z. T. mit Wasser befüllt (vgl. 3.2). Am Sondenfuß sollten deshalb Zuggewichte angebracht werden, die den Auftriebskräften entsprechen.  
Das Sondenbündel sollte zusätzlich oben am Bohrloch befestigt werden.
- Insbesondere bei Bohrungen, die im Spülbohrverfahren abgeteuft wurden, ist zu gewährleisten, dass vor dem Verpressen möglichst nur noch Wasser oder zumindest nur noch reine Bohrspülung mit einer deutlich geringeren Dichte als die der Verpresssuspension im Bohrloch vorhanden ist. Dadurch können störende Inhomogenitäten im Verpresskörper vermieden werden.
- Das Anmischen und Einbringen des Verpressmaterials sollte kontinuierlich mit Hilfe von geeigneten Anlagen erfolgen. Die wichtigsten Anforderungen an die Mischeinrichtung sind: Die Gewährleistung einer gleich bleibenden Suspensionsqualität und der gute Aufschluss der einzelnen Suspensionskomponenten, insbesondere der Bentonitanteile. Zudem ist das Einhalten der nötigen Suspensionsdichte ( $> 1,3 \text{ kg/l}$ ) sowie des geeigneten W/F-Werts Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Verpressung. Mit einem ausreichend dimensionierten Zwangsmischer (mindestens 100 Liter) können die entsprechend dem Mischungsverhältnis erforderlichen Mengen an Zugabestoffen exakt dosiert und gemischt werden. Im Idealfall wird ein mindestens gleichgroßer Vorratsbehälter nachgeschaltet. Das Mischen mit der Venturidüse ist für feststoffreiche Suspensionen nicht geeignet. Soweit diese dennoch eingesetzt werden, ist eine kontinuierliche Überwachung der Dichte erforderlich.
- Zur Herstellung des erforderlichen homogenen Verpresskörpers wäre ein einziger Mischvorgang ideal. Sind mehrere Mischvorgänge erforderlich, ist zu gewährleisten, dass jeweils das selbe Mischungsverhältnis eingehalten wird.
- Unterbrechungen des Verpressvorgangs sind möglichst zu vermeiden. Zumindest ist sicherzustellen, dass insbesondere bei aufeinander folgenden Verpressabschnitten im Verpresskörper keine Luft eingepresst wird.
- Luft einschlüsse sind zu vermeiden, da sie u. a. die Wärmeleitfähigkeit, Dichtheit und Dauerhaftigkeit des Verpresskörpers vermindern.
- Verbleibt das Verpressrohr nicht im Bohrloch ist während des Verpressvorgangs zu gewährleisten, dass sich das untere Ende des Verpressrohres bzw. -gestänges immer mind. 10 m unter

der Oberkante der Suspension im Bohrloch befindet. Das Ziehen des Verpressrohres bzw. -gestänges ist zu dokumentieren.

- Das Verpressen im Kontraktorverfahren kann erst dann beendet werden, wenn das am Bohrloch austretende Verpressmaterial auch die Dichte des eingebrachten Verpressmaterials erreicht hat. Der augenscheinlich erkennbare Farbumschlag des austretenden Verpressmaterials am Bohrloch allein genügt nicht als Kriterium für das Ende des Verpressvorgangs (s. Abb. 9). Hierzu sind regelmäßige Dichtemessungen des angemischten sowie des am Bohrloch austretenden Verpressmaterials erforderlich. Die Messungen sind mit Angabe der Verpressmenge und -dauer zu dokumentieren.

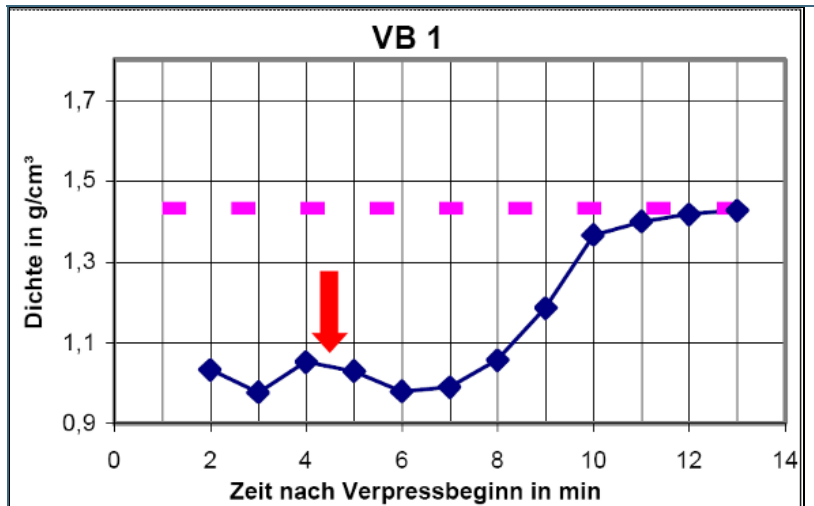


Abb. 9:  
Entwicklung der Suspensionsdichte (gestrichelt: Dichte im Mischer, durchgezogene Linie: Dichte im Rücklauf, Pfeil: erkennbarer Farbumschlag beim Verpressen) (Quelle: W1/01/02 Untersuchungen zur Bestimmung der Qualitätskriterien für Abdichtungsmaterialien im Brunnenbau, DVGW, März 2003)

- Setzungen der Suspensionssäule, die in der Regel nach 4 bis 6 Stunden abklingen sollten, können nicht vermieden werden. Da für eine gute Wärmeübertragung sowie für den Grundwasserschutz eine vollständige Verpressung des Bohrloches nötig ist, müssen diese Setzungen mit dem gleichen Verpressmaterial ausgeglichen werden.
- Soll- und Ist-Mengen der Verpresssuspension sind zu erfassen. Sofern das Verpressvolumen das Zweifache des Bohrlochvolumens übersteigt, ist der Verpressvorgang zu unterbrechen und unverzüglich die Kreisverwaltungsbehörde bzw. das Wasserwirtschaftsamt zu informieren um das weitere Vorgehen abzustimmen. Die Erfassung des Verpressdrucks kann Hinweise über Unregelmäßigkeiten beim Verpressvorgang geben.
- Pro Erdwärmesonde ist vom Bohrunternehmer eine repräsentative Rückstellprobe der Verpresssuspension zu nehmen und mindestens sechs Monate nach Herstellung der Sonde fachgerecht (u. a. unter Wasser gelagert, geschützt vor Austrocknung und vor klimatischen Einflüssen) beim Bauherrn / oder beim nach DVGW W 120 zertifizierten Bohrunternehmen aufzubewahren. Hierfür sind bevorzugt zylindrische, verschraubbare Behältnisse mit bekanntem Volumen und bekanntem Eigengewicht zu verwenden. Die Rückstellprobe ist mit Entnahmestelle und -datum zu kennzeichnen.

Die Verpresssuspension muss **nach Aushärtung** eine dichte und dauerhafte, physikalisch und chemisch stabile Einbindung der Erdwärmesonde in das umgebende Gestein gewährleisten. Das **Überprüfen der lückenlosen homogenen Verpressung** ist durch Kombination verschiedener bohrlochgeophysikalischer Messverfahren möglich. Die Diagnose von Mängeln ist z. B. mit kleinkalibrigen Messsonden möglich. Mit der als „Fisch“ bezeichneten Messsonde kann die tatsächliche Tiefe der Erdwärmesonde ermittelt und ein exaktes Temperaturlog erstellt werden. Das Temperaturlog lässt ggf. Rückschlüsse auf die Qualität der Erdwärmesondenverpressung zu. Durch den wesentlich aufwändigeren Thermal Response Test (TRT) lassen sich darüber hinaus noch weitergehende Kenntnis-

se über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes erlangen. Der TRT bietet sich deshalb in erster Linie für Planungen größerer Erdwärmesondenfelder an.

Wird beim Verpressen von dem in diesem Merkblatt genannten Vorgehen abgewichen, bedarf dies einer **vorherigen Abstimmung** mit der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde bzw. dem Wasserwirtschaftsamt.

### 3.7 Druckprobe und Durchflusstest

**Unmittelbar nach dem Verpressen** sind die Sondenkreisläufe auf Dichtheit zu prüfen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Verpresssuspension noch fließfähig und die Sonde vollständig mit Wasser gefüllt ist. Angaben über notwendige Prüfdrücke und -zeiten sind entsprechend den anerkannten Regeln der Technik durchzuführen (s. VDI 4640, Blatt 2). Ebenso sind die Sondenkreisläufe jeweils auf ihren Durchflusswiderstand hin zu prüfen. Hohe Widerstände können z. B. auf Quetschungen der Rohre infolge der Verpressung zurückgeführt werden. Hohe Widerstände verringern die Funktionsfähigkeit der Erdwärmesonde z. T. erheblich.

## 4 Dokumentation nach Abschluss der Bohrarbeiten

Grundlage zur fachgerechten Herstellung von Erdwärmesonden sind Sorgfalt und Sachverstand bei der Sondenauslegung, bei der Bauausführung und nicht zuletzt bei der Dokumentation während und nach Abschluss der Arbeiten. Die Dokumentation dient sowohl dem Bauherrn als auch dem Bohrunternehmen als Qualitätsnachweis. Vom Bohrunternehmen ist Folgendes zu dokumentieren:

### 4.1 Bohrvorgang

Beim Bohrvorgang sind Grundwasserstände, Spülverluste, eventuell ausgeblasene Wassermengen, Hohlräume, Klüftigkeit etc. im Schichtverzeichnis zu protokollieren. Bei Anomalien ist das weitere Vorgehen mit der Kreisverwaltungsbehörde/dem Wasserwirtschaftsamt abzustimmen und zu dokumentieren.

### 4.2 Schichtenfolge / Bohrprofil

Die bei der Bohrung angetroffene Schichtenfolge und die angetroffenen Grundwasserverhältnisse sind auch durch eine geologische Aufnahme nach DIN EN ISO 22475-1, DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689-1 sowie DIN 4023 zu dokumentieren (s. a. Abbildung 10, Beispiel für Bohrprofil mit Ausbauplan nach 4.3 und Stempel).

### 4.3 Ausbauplan

Rechts neben dem Bohrprofil ist der Ausbau zeichnerisch mit folgenden Angaben darzustellen: Bohrtiefe, Sondereinbautiefe, Bohrlochdurchmesser, Sondenart/-dimensionen, Lage der **Innenabstandshalter**, Unterkante Verpressrohr/-gestänge bei Verpressbeginn, Angaben zur Verpressung.



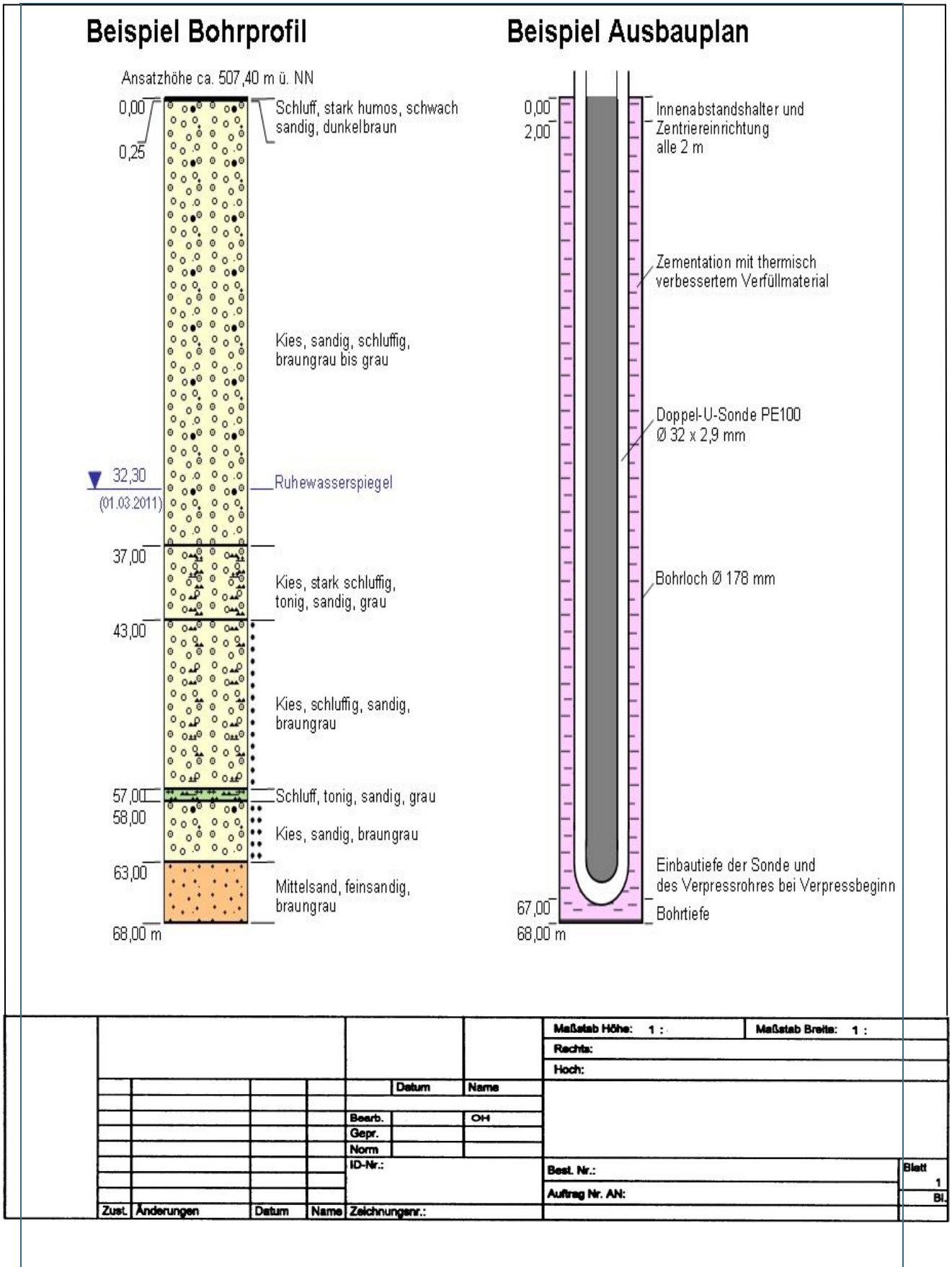


Abb. 10: Beispiel Bohrprofil / Ausbauplan Erdwärmesonde (Quelle: LfU)

#### 4.4 Druck- und Durchflussprüfung

Der Nachweis der werkseitig durchgeführten Druckprobe der Sondenrohre einschließlich Sondenfuß ist der Dokumentation beizulegen. Zudem sind die Druck- und Durchflussprüfungen auf der Baustelle zu dokumentieren.

#### 4.5 Verpressmaterial und –arbeiten

Die Dokumentation und Protokollierung des Verpressmaterials und der Verpressarbeiten umfassen folgende wesentliche Unterlagen bzw. Angaben:  
Lieferschein, technisches Datenblatt, ggf. wasserhygienische Unbedenklichkeitsbescheinigung des Verpressmittelherstellers, verwendete Zusatzstoffe, Mischungsverhältnis, Wasser-Feststoffverhältnis, Protokoll der Dichteprüfung des eingebrachten und austretenden Verpressmaterials, Soll-Ist-Vergleich der verbrauchten Suspensionsmenge, Verpressdruckprotokoll, eingesetzte Pumpe und verwendetes Verpressrohr/-gestänge (Angaben u. a. zu Art, Länge, Anzahl), sowie genommene Rückstellproben (Aufbewahrungsart und Anzahl) der Verpresssuspension.



Abb. 11:  
Herstellung der Suspension auf der Baustelle mit Sackware (Fertigprodukt) (Quelle: LfU)

Wichtige Arbeitsschritte im Rahmen der Bohr-, Einbau- und Verpressarbeiten sollten anhand von **Fotos** dokumentiert werden. Dabei sollen auch die für durchgeführte Arbeiten eingesetzten Geräte, Materialien, Techniken und die errichteten Erdwärmesonden nachvollziehbar dokumentiert werden. Die Fotos sind jeweils so zu erstellen, dass der Bezug zur örtlichen Baustelle durch einen entsprechenden Bildhintergrund eindeutig herzustellen ist.

Die Dokumentation ist mit Abschluss der Arbeiten **dem Bauherrn zu übergeben** und dort aufzubewahren.

## 5 Anschlussleitungen

Alle Anschlussleitungen sind **unterhalb der Frosttiefe** grundsätzlich im Sandbett zu verlegen. Bei Verwendung von Anschlussleitungen, die eine erhöhte Spannungsrissbeständigkeit aufweisen, kann auf ein Sandbett verzichtet werden. Kann ein Einbau unter Frosttiefe nicht gewährleistet werden, sind Vor- und Rücklaufleitungen zur Vermeidung von Frostschäden zu dämmen.

Beim Verlegen ist darauf zu achten, dass **keine unerwünschten Hochpunkte** entstehen, die nur schwer zu entlüften sind und dadurch zu Leistungsminderungen führen können.

**Anschlussleitungen** von Erdwärmesonden zum Verteiler sollen nicht zu nahe aneinander liegen, um gegenseitige mechanische und thermische Beeinflussungen zu reduzieren und frostbedingte Hebungen und Setzungen im Trassenbereich zu vermeiden. Die Erdwärmesondenrohre sollen in parallel geschalteten Kreisen zum Verteiler geführt werden. Am Verteiler soll für jeden einzelnen Sondenkreis eine separate Absperrvorrichtung vorgesehen werden, um einen Totalausfall der Anlage im Fall einer Leckage in einem einzelnen Sondenkreis zu vermeiden. Das in Reihe Schalten mehrerer Sonden entspricht nicht dem Stand der Technik.

Zu **Ver- und Entsorgungsleitungen** (z. B. Trinkwasserleitungen, Abwasserkanälen, Fernwärmeleitungen) ist gemäß VDI 4640 ein Mindestabstand von 0,7 m einzuhalten.

Beim Verlegen der Leitungen und bei den Anschlüssen sind die **Mindestbiegeradien** des Leitungsherstellers zu beachten, die u. a. vom Rohraußendurchmesser abhängen.

Für die Herstellung der **Baugruben und Gräben** ist die DIN 4124 zu beachten.

Alle **erdverlegten Rohrverbindungen** sind als unlösbare, korrosionsbeständige und dauerhaft dichte Verbindungen auszuführen (siehe Nr. 3.1).

## 6 Abschluss der Arbeiten

**Unterlagen für die Kreisverwaltungsbehörde/Wasserwirtschaftsamt** – Das Fertigstellen der Erdwärmesondenanlage ist der Kreisverwaltungsbehörde spätestens vier Wochen nach Abschluss der Arbeiten mit der Bestätigung der bescheidsgemäßen Errichtung (Bauabnahme gem. Art. 61 BayWG) durch einen Privaten Sachverständigen nach Art. 65 BayWG und folgenden Unterlagen (in zweifacher Ausfertigung) mitzuteilen:

- Lageplan mit Gauß-Krüger-Koordinaten (mind. Metergenauigkeit) und rechtwinklige Einmessung zu Festpunkten (z. B. Haus, Garage usw.)
- Darstellung der Leitungsführung (bemaßter Lageplan inklusive Leitungsverlauf)
- Geländehöhe des Bohransatzpunktes (mind. Metergenauigkeit)
- Schichtenverzeichnis nach DIN EN ISO 22475-1, DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689-1
- Ausbauzeichnung mit erbohrtem Schichtenprofil nach DIN 4023 und angetroffenen Grundwasserhältnissen (einschließlich Protokoll des Bohrmeisters)
- Protokoll der Druckprüfungen der Sondenrohre entsprechend VDI 4640, Blatt 2
- Dokumentation zu Verpressmaterial und -arbeiten, Verpressprotokoll, Dichtemessungen
- Untersuchungsergebnisse zur Hydrogeologie
- Angaben zur verwendeten Wärmeträgerflüssigkeit (Menge und Mischverhältnis)
- Ggf. Ergebnisse von geophysikalischen Untersuchungen (z. B. Thermal Response Test)

Mit der zweiten Fertigung werden die Anforderungen gemäß Lagerstättengesetz umgesetzt. Dieser Satz Unterlagen soll über das Wasserwirtschaftsamt an das Bayerische Landesamt für Umwelt - Geologischer Dienst - weitergeleitet werden.

## 7 Literaturverzeichnis

DIN 4023

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen; 2006

DIN 4030

Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte; 2008

DIN 4124

Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten; 2002

DIN 8901

Kälteanlagen und Wärmepumpen – Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen und Prüfung; 2002

DIN 18130 -1

Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche; 1998

DIN EN 12814-3

Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen - Teil 3: Zeitstand-Zugversuch (enthält Änderung A1:2005); Deutsche Fassung EN 12814-3:2000 + A1;2005

DIN EN ISO 14688-1

Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1: 2002); Deutsche Fassung DIN EN ISO 14688-1: 2002; 2003.

DIN EN ISO 14689-1

Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003); Deutsche Fassung DIN EN ISO 14689-1: 2003; 2004.

DIN EN ISO 22475-1

Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1: 2006; 2007.

DVGW W 116

Verwendung von Spülmittelzusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser; 1998

DVGW W 120

Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau und Brunnenregenerierung; 2005.

ISO 16770

Kunststoffe - Bestimmung der Spannungsrisssbeständigkeit von Polyethylen unter Medieneinfluss (ESC) - Kriechversuch an Probekörpern mit umlaufender Kerbe (FNCT); 2004

VDI 4640 Blatt 1: Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte; 2010.

VDI 4640 Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen; 2001.

**Impressum:**

Herausgeber:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Bearbeitung:  
Ref. 93 /

Telefon: 0821 9071-0  
Telefax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Bildnachweis:  
LfU

Postanschrift:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Stand:  
Januar 2012

