Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie

KRV Kunststoffrohrverband e.V.

Einbauanleitung

A 2361/8

Wärmetauschersysteme aus Polyolefinen für geothermische Anlagen, bestehend aus Rohren, Formstücken und Bauteilen

September 2011

Die Einbauanleitung: „Wärmetauschersysteme aus Polyolefinen für geothermische Anlagen, bestehend aus Rohren, Formstücken und Bauteilen“ wurde von der Arbeitsgruppe „Geothermie“ in der KRV Fachgruppe „Versorgung“ erstellt.

An der Erarbeitung beteiligt waren die im KRV vertretenen Firmen:

Borealis AG, Wien (Österreich)
www.borealisgroup.com

egeplast Werner Strumann GmbH, Greven
www.egeplast.de

FRIATEC AG, Mannheim
www.friatec.de

GERODUR MPM Kunststoffverarbeitung GmbH, Neustadt
www.gerodur.de

GF-Tec GmbH, Rodgau
www.gf-tec.de

Ineos Köln GmbH, Köln
www.ineoskoeln.com

Kabelwerke Eupen AG, Eupen (Belgien)
www.eupen.com

LyondellBasell, Frankfurt
www.lyondellbasell.com

Sabic Europe, Sittard (Niederlande)
www.sabic.com

Westfälische Kunststoff Technik GmbH, Sprockhövel
www.wkt-online.de

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Recherche vom Herausgeber nicht übernommen werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 3
2 Geltungsbereich 3
3 Einsatzbereiche 3
4 Kennzeichnung und Farbe der Rohre und Formstücke 4
5 Materialeingangskontrolle und Lagerung der Bauteile 5
6 Einbau des Wärmetauschers 5
6.1 Erdwärmesonden 6
6.1.1 Allgemeines 6
6.1.2 Bohrarbeiten 6
6.1.3 Abteufen der Erdwärmesonde 7
6.1.4 Prüfung der Dichtheit 10
6.1.5 Herstellung der Hinterfüllung 12
6.1.6 Prüfung der Funktionsfähigkeit 16
6.2 Flächenkollektoren 17
6.2.1 Allgemeines 17
6.2.2 Verlegearbeiten 17
6.2.3 Prüfung der Funktionsfähigkeit 18
6.2.4 Herstellung der Überschüttung 20
6.3 Einbau der Leitungsteile 21
6.4 Verbindungstechnik 21
7 Einmessen und Bestandszeichnungen 22
8 Abnahme 22
9 Inbetriebnahme des Wärmetauschers 22
10 Außerbetriebnahme des Wärmetauschers 23
11 Literatur 24

1 Allgemeines

Bei Planung, Bau und Betrieb von Geothermieanlagen zur thermischen Nutzung des Untergrunds, sind die wasserrechtlichen Regelungen, Gesetze und die landesplanerischen Zielsetzungen zu beachten.

Die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften bzw. gewerbeaufsichtliche Vorschriften des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes und evtl. anderer beteiligter Stellen sind einzuhalten.

Bohrungen und Ausbau dürfen nur von qualifizierten Unternehmen durchgeführt werden, die über eine DVGW-Zertifizierung gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt W 120-1 [1] „Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau, -regenerierung, -sanierung und -rückbau“ oder mindestens gleichwertig verfügen.

Die Anbindungen und Verlegearbeiten dürfen nur von Unternehmen hergestellt werden, deren ausführende Mitarbeiter die entsprechenden Kenntnisse und Qualifikationen besitzen. Voraussetzung ist eine Ausbildung auf Grundlage der DVS-Richtlinie 2207-1 [2] und ein Qualifikationsnachweis gemäß DVS-Richtlinie 2212-1 [3]. Die Ausführungen sind von einer Schweißaufsicht gemäß DVS-Richtlinie 2213 [4] zu überwachen.

Bei den Verlegearbeiten sind die Regelwerke des DVGW [5, 6, 7, 8, 9] und des DIN [10, 11, 12, 13, 14] einzuhalten. Darüber hinaus sind die VDI-Richtlinien VDI 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ Blatt 1 bis 4 [15, 16, 17, 18] zu beachten.

2 Geltungsbereich

Diese Einbauanleitung gilt für die Installation und Verlegung von Wärmetauschersystemen aus Polyolefinen (PE 100, PE 100-RC, PE-X, PE-RT Typ II, PP-R und PB-1) für geothermische Anwendungen, bestehend aus Rohren, Formstücken und Bauteilen, die einer Qualitätssicherung durch eine Zertifizierungsstelle unterliegen. Die Sicherung der Qualität erfolgt nach dem Zertifizierungsprogramm DIN CERTCO ZP 23.6.1/8.

Die Verwendung von PP-R ist nur für Flächenkollektoren vorgesehen.

Alle Schweißverbindungen müssen nach DVS Merkblatt 2207-1 [2] ausgeführt sein.

Erdwärmesonden müssen werksseitig geschweißt und geprüft sein. Tiefer als 5 m von der Geländeoberkante liegende Verbindungen, sind werksseitig herzustellen.

Alle Rohrleitungselemente müssen mindestens in SDR 11 (Verhältnis zwischen Außendurchmesser und Wanddicke) ausgeführt werden. In Abhängigkeit der tatsächlichen Einbaulänge der Erdwärmesonde und des daraus resultierenden Betriebsüberdruckes am Sondenfuss ist gegebenenfalls eine kleinere SDR-Reihe zu wählen.

3 Einsatzbereiche

Die Wahl des Werkstoffes eines Wärmetauschers ist abhängig von seiner Temperaturbelastbarkeit.

- Temperaturbereich ≤ 40 °C: PE 100, PE 100 RC, PE-X, PE-RT Typ II, PP-R, PB-1
- Temperaturbereich bis max. 70 °C: PE-X, PE-RT Typ II, PP-R, PB-1

Die zulässigen Betriebsüberdrücke sind den geltenden DIN-Normen zu entnehmen. Die Lebensdauer des Wärmetauschers beträgt mindestens 50 Jahre.

4 Kennzeichnung und Farbe der Rohre und Formstücke

Die Rohre und Formstücke müssen mit der Mindestkennzeichnung nach Tabelle 1 bzw. Tabelle 2 versehen sein.

Die Kennzeichnung der Rohre und Formstücke ist auf Lesbarkeit, Vollständigkeit und Richtigkeit durch Sichtprüfung zu kontrollieren. Rohre die nicht vollständig gekennzeichnet sind, dürfen nicht verwendet werden.

Tabelle 1: Kennzeichnung der Rohre für Wärmetauschersysteme am Beispiel PE 100 RC

Bezeichnung	Kennzeichnungsbeispiel
Herstellerzeichen	xyz
Qualitätszeichen für Kunststoffrohre für Geothermie	Registernummer
Warenzeichen KRV	
Werkstoffbezeichnung	PE 100 RC
Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis	SDR 11
Außendurchmesser x Wanddicke	32 x 2,9
Anwendung	Geothermie
Herstellungsdatum Tag/Monat/Jahr	020310
Maschinen-Nr. / Auftragsnummer	8

Tabelle 2: Mindestkennzeichnung der Formstücke für Wärmetauschersysteme am Beispiel PE 100

Bezeichnung	Kennzeichnungsbeispiel
Herstellerzeichen[1)]	xyz
Qualitätszeichen für Kunststoffrohre für Geothermie	Registernummer
Warenzeichen KRV	
Werkstoffbezeichnung[1)]	PE 100
Nenn-Außendurchmesser des Rohres[1)]	110
Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis[1)]	SDR 11
Anwendung	Geothermie
Herstellungscode[1)]	020310
Maschinen-Nr. / Auftragsnummer	8

[1)] Mindestkennzeichnung auf dem Formstücke

Die Farbe der Rohre und ihrer Streifen kann vom Hersteller frei gewählt werden. Um Verwechslungen auszuschließen sind Farben, die für Trinkwasser- und Gasrohre verwendet werden, nicht zulässig.

5 Materialeingangskontrolle und Lagerung der Bauteile

Bei der Anlieferung müssen alle Bauteile kontrolliert werden. Die Lieferung muss frei von Beschädigungen und Verunreinigungen sein und mit dem Lieferschein übereinstimmen.

Erdwärmesonden müssen mit einem gültigen Werkszeugnis 2.2 nach DIN EN 10204 [19] ausgeliefert werden.

Die Transportverpackung ist sofort nach dem Abladen auf Beschädigung zu prüfen. Bei festgestellter Beschädigung der Transportverpackung ist die Ware auf Schäden zu prüfen. Transport und Lagerung haben immer auf Paletten zu erfolgen (vgl. Abbildung 1). Die Erdwärmesonde muss vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt gelagert werden. Die maximale Freilagerungsdauer der nicht schwarz eingefärbten Bauteile ist unbedingt zu beachten.

Abbildung 1: Transport auf Palette, Verpackung der Sonden mit Schutzverpackung [20]

6 Einbau des Wärmetauschers

Wärmetauscher dürfen nur von entsprechend qualifizierten Fachfirmen eingebaut werden. Die Bauteile sind vor dem Einbau auf Beschädigungen und Verunreinigungen zu kontrollieren. Die Anlagen sind in der Regel nach Wasserrecht genehmigungspflichtig.

In den Trinkwasserschutzzonen I und II sind Bohrungen nicht zulässig. In den weiteren Wasserschutzzonen hängt die Genehmigung von geologischen und wasserwirtschaftlichen Verhältnissen ab. In Heilquellenschutzgebieten sind ebenfalls besondere Regelungen zu beachten. Auskünfte diesbezüglich erteilen die zuständigen Wasserbehörden

Dem Bauherrn wird empfohlen, Fotos von den Bohr-, Einbau und Verpressarbeiten anzufertigen.

6.1 *Erdwärmesonden*

6.1.1 Allgemeines

Bei bestehenden Gebäuden sollte der Mindestabstand von Erdwärmesonden zu den Gebäuden 2 m betragen. Die Standsicherheit der Gebäude darf nicht gefährdet werden [21].

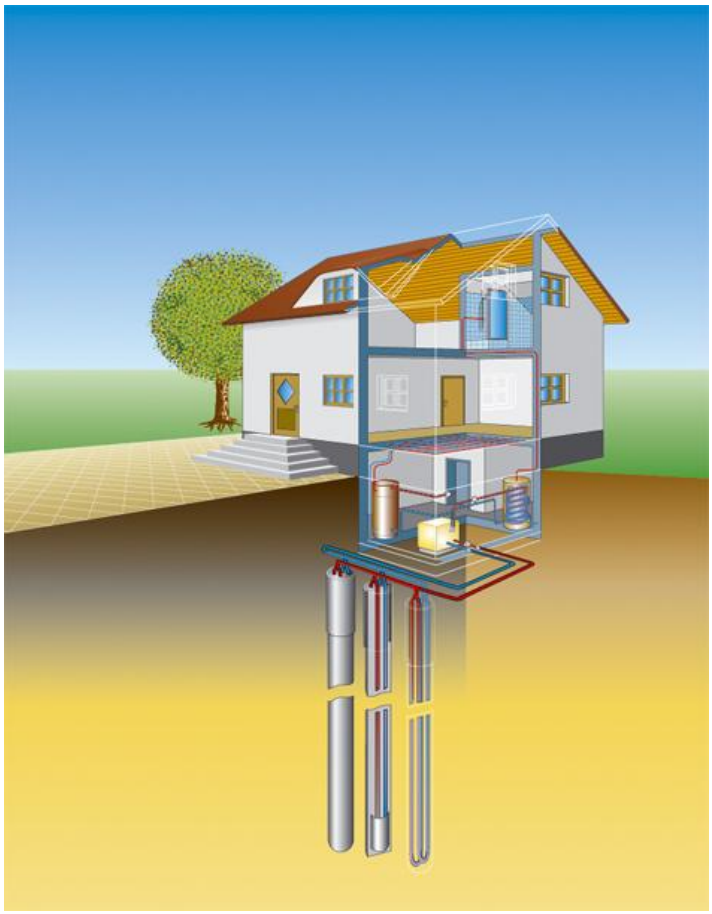

Abbildung 2: Systemskizze einer Erdwärmesonde [22]

6.1.2 Bohrarbeiten

Erdwärmebohrungen mit einer Teufe von mehr als 100 m sind der für die Genehmigung zuständigen Behörden nach § 127 Abs. 1 des Bundesberggesetzes (BBergG) [23] mindestens zwei Wochen vor Beginn der Bohrarbeiten anzuzeigen.

Nachteilige Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit sind auszuschließen. Es dürfen daher nur Bohrspülungen ohne wassergefährdende Stoffe verwendet werden.

Der Mindestdurchmesser der Bohrung muss an die genehmigungsrechtlichen Vorgaben angepasst werden.

Die Bohrarbeiten müssen in einem Bohrprotokoll dokumentiert werden.

Dabei sollten Grundwasserstände, Spülungsverluste, evtl. ausgeblasene Wassermengen, Hohlräume, Klüftigkeit etc. protokolliert werden. Bei Anomalien, z. B. unerwartet hohe Spülungsverluste im Bohrloch, ist das weitere Vorgehen mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen.

Abbildung 3: Bohrung [24] und Abteufen der Erdwärmesonde [25]

6.1.3 Abteufen der Erdwärmesonde

Schutzverpackungen, z.B. Stretchfolien, dürfen erst unmittelbar vor dem Einbau entfernt werden und sind zuvor auf Beschädigungen zu kontrollieren.

Die Daten der Erdwärmesonden müssen mit einem Werkszeugnis verglichen werden.

Vor dem Abteufen der Erdwärmesonde sollten nachfolgende Arbeitsschritte durchgeführt werden.

a) Durchflussmessung

Der Durchfluss der Erdwärmesonde sollte bestimmt werden, um einen erhöhten hydraulischen Widerstand im Rohr auszuschließen. Die Bestimmung des Durchflusses kann durch eine Druckdifferenzmessung bei konstanter Durchflussrate erfolgen. Werte für die zulässige Druckdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf der Erdwärmesonde sind in Abhängigkeit des Durchmessers und der Länge der Erdwärmesonde sowie des gemessenen Durchflusses in [26] zu finden. Beispielhafte Orientierungswerte für den zulässigen Druckverlust zwischen Eintritt und Austritt der Erdwärmesonde können aus Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Beispielhafte Orientierungswerte für den zulässigen Druckverlust zwischen Vorlauf und Rücklauf der Erdwärmesonde in Anlehnung an [26]

Durchmesser [mm]	Sondenlänge [m]	Durchflussmenge [l/min]	Druckdifferenz [bar]
32	100	30	1,0
32	100	40	1,7
32	100	50	2,5
40	200	40	1,2
40	200	50	1,7
40	200	60	2,3

Die KRV-Druckverlust-Tabellen für Druckrohrleitungen PE sind ein geschätztes Instrument beim Planer. Bisher gab es das Tabellenbuch nur in gedruckter Form. Der KRV hat daher ein EDV-Programm erstellen lassen Das Rechenprogramm kann in elektronischer Form als CD beim KRV erworben werden.

b) Dichtheitsprüfung

Die Dichtheit der Erdwärmesonde muss überprüft werden. Die Prüfung erfolgt als Wasserdichtheitsprüfung. Diese Dichtheitsprüfung kann mit einem Prüfdruck weit unterhalb des zulässigen Betriebsüberdruckes der Erdwärmesonde durchgeführt werden. Wird bei der Dichtheitsprüfung kein sichtbarer Wasseraustritt festgestellt darf die Erdwärmesonde verbaut werden.

Zum Nachweis der Dichtheit wird ein Prüfdruck von 1 bar aufgebracht und über eine Prüfzeit von 30 Minuten gehalten. Durch Dehnungen des Rohrmaterials wird sich während der Prüfzeit ein geringfügiger Druckabfall einstellen. Der Druckabfall während der Prüfzeit sollte nicht mehr als 10% des Prüfdruckes betragen.

Die Dichtheitsprüfung darf nur von geschultem und in den Umgang mit den Dichtheitsprüfgeräten unterwiesenem Personal durchgeführt werden.

Die Prüfungen sollen verhindern, dass eine schadhafte Erdwärmesonde abgeteuft wird. Nach bestandener Durchfluss- und Dichtheitsprüfung darf die Erdwärmesonde abgeteuft werden.

Zum Einbau der Erdwärmesonde muss eine Haspel verwendet werden (vgl. Abbildung 4). Es ist dabei immer darauf zu achten, dass die Rohre nicht beschädigt oder deformiert werden.

Abbildung 4: Haspel zum schonenden Einbau der Erdwärmesonde [25]

Beim Abteufen dürfen keine hohen dynamischen Kräfte auf die Erdwärmesonde einwirken. Der kleinste zulässige Biegeradius des Rohres darf beim Einbau nicht unterschritten werden. **Vorgaben der Hersteller beachten!**

Tabelle 4: Zulässiger Biegeradius für Rohre aus PE

Verlege-temperatur [°C]	**Kleinster zulässiger Biegeradius R**
0	50 x d
10	35 x d
20	20 x d

Es ist zusätzlich ein Verpressrohr einzubauen, durch welches später das Hinterfüllmaterial eingepresst wird.

In mit Wasser gefüllten Bohrlöchern sollten die Erdwärmesonden im wassergefüllten Zustand abgeteuft werden. In der mit Wasser gefüllten Erdwärmesonde wirkt während des Abteufens ein mit der Tiefe zunehmender Druck. Die Herstellerangaben zur schadlosen Abteuftiefe sind dabei zu beachten. Ist das Bohrloch mit Bohrsuspension gefüllt, ist die Erdwärmesonde mit Wasserfüllung und einem ausreichenden Zusatzgewicht abzuteufen, welches dem Auftrieb der Sonde entgegenwirkt.

Erdwärmesonden werden für einen maximalen zulässigen Betriebsüberdruck bemessen (z.B. Druckklasse PN16 = 16 bar). Zulässig Betriebsüberdrücke für Rohre der SDR-Reihe 11 sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Zulässige Betriebsüberdrücke und daraus abgeleitete Einbautiefen einer Wassergefüllten Erdwärmesonde in einem trockenen Bohrloch (bezogen auf 20 °C und 50 Jahre Betriebsdauer)

Werkstoff	**Zulässiger Betriebsüberdruck [bar]**	**Einbautiefe [m]**
PE 100 PE 100 RC	16,0	160
PE-X	12,5	125
PE-RT Typ 2	14,9	149
PP-R	15,4	-[1)]
PB-1	21,8	218

[1)] Entsprechend dem Geltungsbereich dieser Einbauanleitung ist der Werkstoff PP-R nur für Flächenkollektoren vorgesehen

Bei einem trockenen Bohrloch wirkt kein äußerer Gegendruck auf die abzuteufende Erdwärmsonde, der einer Dehnung des Materials entgegenwirkt. Daher ist zu beachten, dass der Druck innerhalb der Erdwärmesonde den schadensfrei aufzunehmenden Wert nicht überschreitet. In diesem Fall wäre die Erdwärmesonde ohne Wasserfüllung mit einem ausreichenden Zusatzgewicht abzuteufen.

6.1.4 Prüfung der Dichtheit

Vor der Herstellung der Hinterfüllung und dem Verbinden der Erdwärmesonde mit der Wärmepumpe muss die Dichtheit der Erdwärmesonde geprüft werden.

Die Erdwärmesonde ist im Betrieb mit einer Trägerflüssigkeit gefüllt, die nicht in das Grundwasser gelangen darf. Beim Abteufen kann das Bauteil erhebliche mechanische Beanspruchungen erfahren. Um sicherzustellen, dass die Erdwärmesonde beim Abteufen nicht beschädigt wurde ist daher eine Dichtheitsprüfung durchzuführen.

Zur Überprüfung der Dichtheit wird die Erdwärmesonde mit Wasser gefüllt. Der Prüfdruck kann unter Beachtung örtlicher Randbedingungen vom Planer festgelegt werden. Nachfolgende Empfehlungen sollten beachtet werden.

Die Dichtheitsprüfung darf nur von geschultem und in den Umgang mit den Dichtheitsprüfgeräten unterwiesenem Personal durchgeführt werden.

Abbildung 5: Dichtheitsprüfung der Erdwärmesonde [25]

Fall 1: Das Bohrloch ist wassergefüllt:

Bei einem wassergefüllten Bohrloch muss sichergestellt werden, dass der Wasserdruck in der Erdwärmesonde größer als der äußere Gegendruck ist. Zusätzlich zur Wasserfüllung ist die Erdwärmesonde daher mit einem Prüfdruck ΔP von 1,0 bar zu beaufschlagen. Der Prüfdruck kann am Ablauf der Erdwärmesonde mit einem Manometer kontrolliert werden.

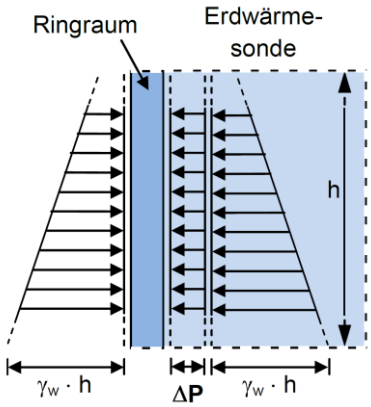

Abbildung 6: Erforderlicher Prüfdruck bei einem wassergefüllten Bohrloch

Nach Erreichen des Prüfdruckes sollte dieser während einer Druckhaltephase von 10 Minuten durch kontinuierliches Nachregeln gehalten werden. In der Nachfolgenden Beruhigungszeit von 20 Minuten darf der Druckabfall infolge Rohrexpansion nicht über dem vom Sondenhersteller angegebenen Wert liegen. Anschließend beginnt die 30-minütige Prüfzeit. Der zulässige Druckabfall während der Prüfzeit darf nicht mehr als 10 % des Prüfdruckes betragen.

Eine Undichtigkeit führt in diesem Fall zu einem Druckausgleich zwischen Bohrloch und Erdwärmesonde und somit einem erkennbaren Druckverlust.

Fall 2: Das Bohrloch ist mit flüssiger Bohrsuspension gefüllt:

Bei einem mit einer Bohrsuspension gefüllten Bohrloch muss sichergestellt werden, dass der Wasserdruck in der Erdwärmesonde größer ist als der äußere Gegendruck der Suspension. Durch Unterschiede der Dichte des Wassers und der Suspension kann der Suspensionsdruck größer als der Wasserdruck sein. Zusätzlich zur Wasserfüllung ist die Erdwärmesonde mit einem Prüfdruck ΔP in Abhängigkeit der Dichte der Bohrsuspension zu beaufschlagen. Der Prüfdruck berechnet sich zu:

$$\Delta P\ [bar] = (P_s - P_w) + 1$$

$$= ((\gamma_s - \gamma_w) \cdot h \cdot 1/10) + 1$$

mit:
- P_s = Suspensionsdruck am Sondenfuss [bar]
- P_w = Innendruck am Sondenfuss [bar]
- γ_s = Dichte der Bohrsuspension [kg/Liter]
- γ_w = Dichte der Wasserfüllung [kg/Liter]
- h = Tiefe der Bohrung [m]

Der Prüfdruck kann am Ablauf der Erdwärmesonde mit einem Manometer kontrolliert werden.

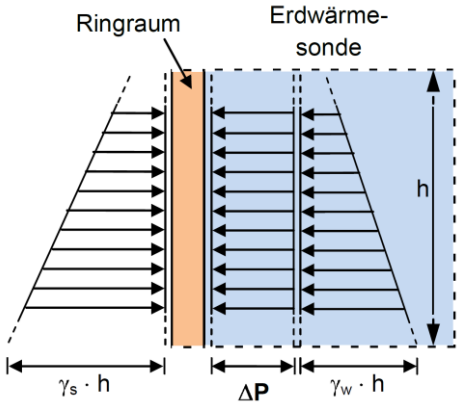

Abbildung 7: Erforderlicher Prüfdruck bei einem mit Bohrsuspension gefüllten Bohrloch

Nach Erreichen des Prüfdruckes sollte dieser während einer Druckhaltephase von 10 Minuten durch kontinuierliches Nachregeln gehalten werden. In der Nachfolgenden Beruhigungszeit von 20 Minuten darf der Druckabfall infolge Rohrexpansion nicht über dem vom Sondenhersteller angegebenen Wert liegen. Anschließend beginnt die 30-minütige Prüfzeit. Der zulässige Druckabfall während der Prüfzeit darf nicht mehr als 10 % des Prüfdruckes betragen.

Eine Undichtigkeit führt in diesem Fall zu einem Druckausgleich zwischen Bohrloch und Erdwärmesonde und somit einem erkennbaren Druckverlust.

Fall 3: Das Bohrloch ist trocken:

Erdwärmesonden der SDR-Reihe 11 können bis zu der in Tabelle 5 angegebenen Einbautiefe in wassergefülltem Zustand abteuft werden. In dem trockenen Bohrloch erzeugt allein die Wasserfüllung der Erdwärmesonde einen ausreichenden Prüfdruck. Bei einer Undichtigkeit wird ein deutlich erkennbarer Wasserverlust auftreten.

Wird die Erdwärmesonde in ungefülltem Zustand abgeteuft kann die Dichtheitsprüfung anschließend als Druckprüfung mit dem Prüfmedium Luft erfolgen. Die Prüfung sollte mit einem Druck von max. 3 bar durchgeführt werden.

Der Anfangsdruck, der den Prüfdruck um etwa 10 % überschreiten sollte, ist für 5 Minuten aufrecht zu halten. Danach ist der Prüfdruck einzustellen. Die Prüfzeit sollte auf 20 Minuten beschränkt werden. Der zulässige Druckabfall während der Prüfzeit darf nicht mehr als 10 % des Prüfdruckes betragen.

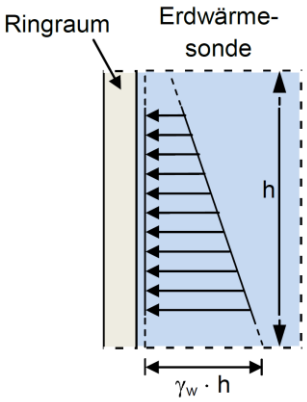

Abbildung 8: Erforderlicher Prüfdruck bei einem trockenen Bohrloch

6.1.5 Herstellung der Hinterfüllung

Nachdem die Dichtheit der eingebauten Erdwärmesonde festgestellt wurde darf mit der Hinterfüllung begonnen werden.

Wird mit der Herstellung der Hinterfüllung nicht unmittelbar nach der Prüfung der Dichtheit begonnen, kann empfohlen werden die Sonde zunächst erneut mit klarem Wasser zu spülen, da eine Manipulation der abgeteuften Erdwärmesonde, z.B. durch spielende Kinder, nicht ausgeschlossen werden darf, sobald die Einbaustelle unbeaufsichtigt ist.

Die Hinterfüllung erfüllte folgende Aufgaben:

- Vertikale Abdichtung von unterschiedlichen Wasserhorizonten,
- Thermische Anbindung der Erdwärmesonde an den umgebenden Boden,
- Einbettung und Schutz der Erdwärmesonde.

Vor dem Hinterfüllen müssen die Erdwärmesondenrohre vollständig mit Wasser gefüllt und druckdicht verschlossen werden. Zur Kontrolle des Hinterfüllvorgangs ein Manometer verwenden (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9: Hinterfüllte Erdwärmesonde mit Manometer zur Druckkontrolle [24]

In der mit Wasser gefüllten Erdwärmesonde wirkt danach ein mit der Tiefe zunehmender Druck. Mit jedem Meter Tiefe steigt der Innendruck um 0,1 bar an. Um einem Einbeulen der Erdwärmesonde entgegenzuwirken muss die Druckdifferenz zwischen dem Innendruck in der Erdwärmesonde und dem Suspensionsdruck des Hinterfüllmaterials kleiner als der zulässige Außendruck (*P*) der Erdwärmesonde sein.

$$P = \frac{10 \cdot E_R}{S_F \cdot 4 \cdot (1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{e}{0{,}5 \cdot (d_a - e)}\right)^3$$

mit:
- P = zulässiger Außendruck [bar]
- E_R = Kurzzeit E-Modul [MPa]
- S_F = Sicherheitsfaktor gegen Einbeulen [-]
- μ = Querkontraktionszahl
- e = Wanddicke [mm]
- d_a = Außendurchmesser des Rohres [mm]

Beispielrechnung: Rohr aus PE-100, d = 40 mm, e = 3,7 mm, SDR 11, Sicherheitsfaktor 2,0:

$$P = \frac{10 \cdot 1000}{2{,}0 \cdot 4 \cdot (1-0{,}4^2)} \cdot \left(\frac{3{,}7}{0{,}5 \cdot (40-3{,}7)}\right)^3 = 12{,}61\ bar$$

Bei diesem Beispiel beträgt der zulässige Außendruck des Rohres 12,61 bar.

Das Verpressen des Hinterfüllmaterials ist von unten nach oben durchzuführen. Das Verpressrohr wird kontinuierlich mit fortschreitender Verfüllhöhe gezogen. Um Lufteinschlüsse zu verhindern muss der Auslass des Verpressrohres immer unterhalb des Verfüllhorizontes bleiben (vgl. Abbildung 10).

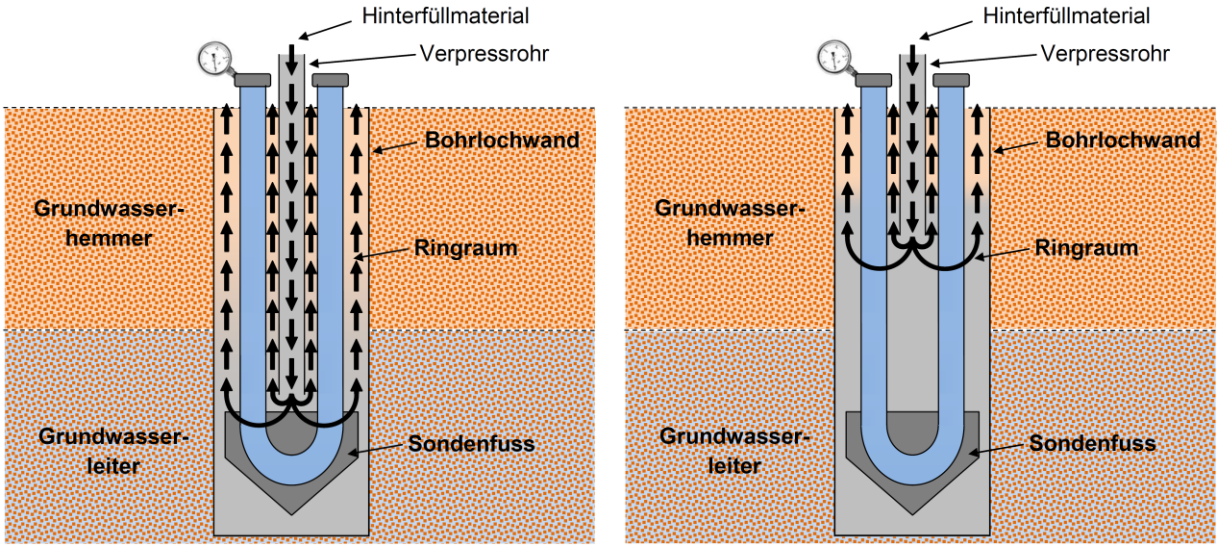

Abbildung 10: Verpressen des Hinterfüllmaterials mit kontinuierlichem Ziehen des Verpressrohres

Der Verpressvorgang wird solange durchgeführt bis das Hinterfüllmaterial aus dem Bohrloch austritt (vgl. Abbildung 11).

Abbildung 11: Abgeteufte Erdwärmesonde mit Injektionsrohr (links) [27] nach der Hinterfüllung (rechts) [28]

Die Menge des Hinterfüllmaterials muss dokumentiert werden. Übersteigt das Volumen das Zweifache des Bohrlochvolumens, ist das Verpressen des Hinterfüllmaterials einzustellen und unverzüglich die Genehmigungsbehörde zu informieren.

Die Erdwärmesonde muss vollständigen Kontakt zum Hinterfüllmaterial haben. Das Hinterfüllmaterial muss den Richtwerten der Tabelle 6 entsprechen.

Tabelle 6: Richtwerte für Materialien in der Leitungszone [8]

Rohrmaterial		**Korngröße rundes Material**	**Korngröße gebrochenes Material**
PE 100 PE-RT Typ II[1)] PP-R[1)] PB-1[1)]	≤ DN 200	0 – 22 mm	Brechsand-Splitt-Gemisch 0 – 11 mm
	> DN 200 ≤ DN 600	0 – 40 mm	
PE 100-RC[1)] PE-X		0 – 63 mm	0 – 63 mm

[1)] Die Angaben des Rohrherstellers sind zu beachten

Distanzhalter verhindern die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Solekreisläufe. Distanzhalter mit Bohrlochzentrierung stelle die zentrisch Lage der Erdwärmesonde im Bohrloch und eine gleichmäßige Hinterfüllung sicher (vgl. Abbildung 12).

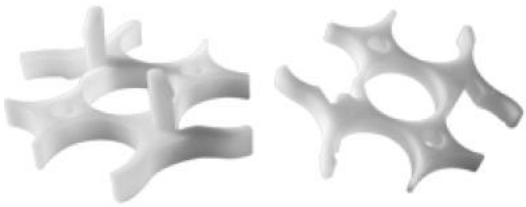

Abbildung 12: Distanzhalter für Erdwärmesondenrohre [29]

Als Hinterfüllmaterial eignen sich Bentonit/Hochofenzement/Wasser- oder Bentonit/Hochofenzement/Sand/Wasser-Suspensionen. Die Verwendung von Sand zur Hinterfüllung ist nur in durchlässigem Lockergestein mit oberflächennahem Grundwasserspiegel möglich.

Abbildung 13: Tonpellets zur Verfüllung des Ringraumes [30]

Bei geklüfteter Geologie können thermisch leitfähige Tonpellets mit Graphitzusatz als Hinterfüllmaterial eingesetzt werden (vgl. Abbildung 13). Die quellfähigen Tonpellets mit glatter, gerundeter Oberflächen ermöglichen eine schlüssige, spaltenfreie Anbindung der Erdwärmesonde an den umgebenden Boden. Der Tonpellets müssen mittels Schlauchpumpe über eine Verpressleitung in das Bohrloch eingebracht werden.

Das Hinterfüllmaterial für Erdwärmesonden muss den geltenden wasserrechtlichen Bestimmungen entsprechen. Die Frost-/Tau-Wechselbeständigkeit des Hinterfüllmaterials muss sichergestellt sein. Der zulässige Anwendungsbereich des Hinterfüllmaterials sollte zwischen -5 °C bis +22 °C liegen. Hydratationswärme kann zu einer deutlichen Erhöhung der Rohrwandtemperatur und zu Beschädigungen führen.

6.1.6 Prüfung der Funktionsfähigkeit

Nach dem Hinterfüllen muss die Funktionsfähigkeit der Erdwärmesonde nachgewiesen werden.

a) Spülen der Erdwärmesonde

Alle Kreise müssen mit klarem Wasser gespült werden, um Schmutzpartikel zu entfernen. Die Spüldauer wird dabei in Abhängigkeit der Länge der Erdwärmesonde festgelegt. Jeder Sondenkreislauf muss mindestens einmal vollständig durchgespült werden. Beispielhafte Orientierungswerte für die Spülparameter können Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 7: Beispielhafte Orientierungswerte für das Spülen in Anlehnung an [26]

Durchmesser [mm]	Sondenlänge [m]	Mindestspüldauer [min]	Durchfluss [l/min]	Spülgeschwindigkeit [m/s]
32	100	6	20	0,64
32	150	6,5	24,5	0,78
32	175	7	26	0,86
40	165	9,5	28	0,56
40	200	11	32	0,63
40	300	13	38,5	0,76

b) Durchflussmessung

Die Bestimmung des Durchflusses kann durch eine Druckdifferenzmessung bei konstanter Durchflussrate erfolgen. Werte für die zulässige Druckdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf der Erdwärmesonde sind in Abhängigkeit des Durchmessers und der Länge der Erdwärmesonde sowie des gemessenen Durchflusses in [26] zu finden. Beispielhafte Orientierungswerte für den zulässigen Druckverlust zwischen Eintritt und Austritt der Erdwärmesonde können Tabelle 3 entnommen werden.

Anschließend müssen herausstehende Rohrstücke mit Endkappen verschlossen werden. Im Fall von Frostgefahr müssen die Sonden bis zum Anschluss an die übrigen Leitungsteile und die endgültige Befüllung mit der Trägerflüssigkeit vollständig entleert werden.

6.2 *Flächenkollektoren*

6.2.1 Allgemeines

Kollektoranlagen bestehen aus einem über große Flächen verlegten Rohrsystem. Um die Funktionsweise auch im Winter zu gewährleisten, ist eine Verlegetiefe von mindestens 1,2 m Voraussetzung. Bei der Planung sollten Abstände von ca. 1,5 m zu Gebäudefundamenten oder Versorgungsleitungen berücksichtigt werden.

Um Wurzelschäden vorzubeugen, ist eine Überpflanzung mit Bäumen oder Sträuchern auszuschließen. Bei angrenzendem Baumbestand sollte ein Abstand von mindestens 0,5 m zum Rand der Baumkrone eingehalten werden.

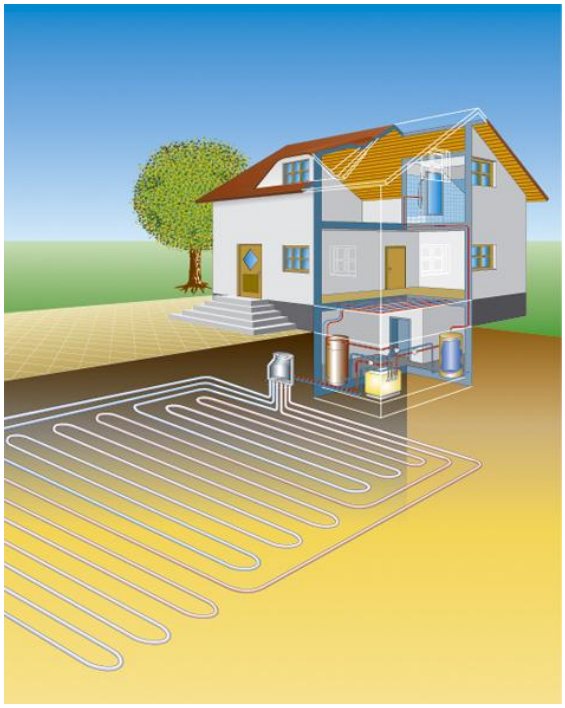

Abbildung 14: Systemskizze eines horizontalen Flächenkollektors [22]

Abbildung 15: Einbaubeispiele [25]

6.2.2 Verlegearbeiten

Schutzverpackungen z.B. Stretchfolien dürfen erst unmittelbar vor dem Verlegen entfernt werden und sind zuvor auf Beschädigungen zu kontrollieren.

Die Daten des Flächenkollektors müssen mit dem Werkszeugnis 2.2 nach DIN 10204 [19] verglichen werden.

Vor dem Verlegen sollte die Dichtheit des Flächenkollektors überprüft und der Durchfluss bestimmt werden (vgl. Abschnitt 6.1.3.).

Nach bestandener Dichtheitsprüfung darf der Flächenkollektor verlegt werden.

Das Planum soll frei von Unebenheiten sein. Dichtschichten unter den Flächenkollektoren müssen flächig eingebaut und lagenweise verdichtet werden.

Für die Erdverlegung können die Kollektorrohre der SDR-Reihe 11 ohne gesonderten Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweis in Anlehnung an das Arbeitsblatt A-127 der DWA [31] verwendet werden, sofern keine erhebliche Abweichung der nachfolgenden Einbaurandbedingungen vorliegt.

- Überdeckungshöhe 1,2 m bis 1,5 m
- Bettungs- und Verfüllmaterial in der Leitungszone gemäß DVGW Arbeitsblatt W 400-2 [8]
- Verkehrslasten bis SLW 60 nach DIN 1072 [32]

Bei der Herstellung des Auflagers und die Einbettung sind die Vorgaben der DIN EN 1610 [33] zu beachten. Unmittelbar über den Kollektorrohren darf kein schweres Verdichtungsgerät verwendet werden. Die Anforderungen an die Verdichtung des Bettungsmaterials können unter Berücksichtigung örtlicher Randbedingungen vom Planer festgelegt werden.

Schweißungen erdberührender Teile der Erdwärmekollektoren auf der Baustelle sind nicht zulässig.

PP-R Rohre für Flächenkollektoren dürfen bei Temperaturen unter 0 °C nicht verlegt werden. Es sind die Herstellerangaben zu beachten.

6.2.3 Prüfung der Funktionsfähigkeit

Vor der Verbindung des Flächenkollektors mit der Wärmepumpe muss die Funktionsfähigkeit des Flächenkollektors geprüft werden.

a) Spülen des Flächenkollektors

Alle Kreise müssen mit klarem Wasser gespült werden, um Schmutzpartikel zu entfernen. Die Spüldauer wird dabei in Abhängigkeit der Länge des Flächenkollektors festgelegt. Jeder Sondenkreislauf muss mindestens einmal vollständig durchgespült werden. Beispielhafte Orientierungswerte für die Spülparameter können Tabelle 7 entnommen werden.

b) Dichtheitsprüfung

Der Flächenkollektor ist im Betrieb mit einer Trägerflüssigkeit gefüllt, die nicht in den Untergrund gelangen darf. Daher ist sicherzustellen, dass es bei der Verlegung zu keiner Beschädigung der Kollektorrohre gekommen ist.

Die Dichtheitsprüfung darf nur von geschultem und in den Umgang mit den Dichtheitsprüfgeräten unterwiesenem Personal durchgeführt werden.

Vor dem Überschütten

Die Prüfung der Dichtheit soll vor dem Überschütten des Flächenkollektors mit Wasser erfolgen. Die Dichtheitsprüfung gilt als bestanden, wenn das Kriterium „kein sichtbarer Wasseraustritt“ erfüllt wird. Die Rohre dürfen während der Druckprüfung keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Gegebenenfalls sind die Rohre zu beschatten. Die Rohrwandtemperatur soll 25 °C nicht überschreiten um sicherzustellen, dass die Rohre den Prüfdruck aufnehmen können.

Zum Nachweis der Dichtheit wird ein Prüfdruck von 1 bar aufgebracht und über eine

Prüfzeit von 30 Minuten gehalten. Während der Prüfzeit darf an keiner Stelle Wasser austreten. Durch Dehnungen des Rohrmaterials wird sich während der Prüfzeit ein Druckabfall einstellen. Der Druckabfall durch Rohrexpansion darf nicht über dem vom Kollektorhersteller angegebenen Wert liegen.

Nach dem Überschütten

Ist die Dichtheitsprüfung vor dem Überschütten nicht möglich, muss nach dem Überschütten eine Druckprüfung der horizontalen Leitung nach dem Kontraktionsverfahren durchgeführt werden.

Die Druckprüfung beginnt mit einer Vorprüfung bei der das Rohrmaterial gedehnt wird, damit es bei der Hauptprüfung zu einem Zusammenziehen (Kontrahieren) kommt.

Der Flächenkollektor wird mit Wasser gefüllt und entlüftet. Verbleibende Restluft innerhalb des Systems verfälscht das Prüfergebnis. Wird beim Befüllen und Entlüften des Flächenkollektors bereits ein Druck aufgebaut, ist vor der dem Beginn der Vorprüfung eine Beruhigungszeit von 60 Minuten einzuhalten. Anschließend wird innerhalb von 10 Minuten der Prüfdruck aufgebracht. Der Prüfdruck berechnet sich in Anlehnung an DIN EN 805 [11] zu:

Prüfdruck [bar] = Systembetriebsdruck [bar] · 1,5

Der maximale Prüfdruck am tiefsten Punkt des Flächenkollektors darf den Nenndruck der Rohrleitung um nicht mehr als 5 bar überschreiten. Der Druck ist für 10 Minuten durch Nachpumpen zu halten. Danach folgt eine Wartezeit von 60 Minuten. Die Prüfung muss abgebrochen werden, falls der Druckabfall in dieser Zeit mehr als 30 % beträgt.

Die durch die Vorprüfung fortschreitende Ausdehnung der Rohre wird durch eine plötzliche Druckabsenkung unterbrochen. Die empfohlene Druckabsenkung P_{ab} beträgt nach [34] in Abhängigkeit der Rohrserienzahl:

Serie 3,2 → Druckabsenkung um 3,0 bar

Serie 5 → Druckabsenkung um 2,0 bar

Serie 8 → Druckabsenkung um 1,2 bar

Dazu wird Wasser aus dem Prüfraum abgelassen. Das abgelassene Wasservolumen V_{ab} muss kleiner V_K sein.

$$V_K = P_{ab} \cdot l \cdot 0{,}1 \cdot f \cdot \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot \left(\frac{1}{K_w} + \frac{d_i}{E_R \cdot e}\right)$$

mit:
- V_K = zulässige Wasservolumen [ml]
- P_{ab} = Druckabsenkung [bar]
- l = Länge der geprüften Rohre [m]
- f = Faktor 1,5 zur Berücksichtigung der Restluft in den Rohren [-]
- d_i = Innendurchmesser des Rohres [mm]
- e = Wanddicke [mm]
- E_R = E-Modul des Rohrwerkstoffes [N/mm²]
- K_w = Kompressionsmodul des Wassers [N/mm²]

Nach dem Ablassen des Wasservolumens V_{ab} folgt eine Kontraktionszeit von 30 Minuten, in der sich das Rohrmaterial entspannt. Das Volumen in den Rohren nimmt dadurch ab und der Innendruck steigt an. Während einer Prüfzeit (Kontraktionszeit) darf der erreichte Höchstdruck im Flächenkollektor nicht abfallen. Bei einem Druckabfall > 0,25 bar gilt die Druckprüfung unmittelbar als nicht bestanden. Bei einem geringeren Druckabfall darf die Kontraktionszeit auf 90 Minuten verlängert werden. Bleibt der Druckabfall innerhalb dieser Zeit unter 0,25 bar gilt die Prüfung als bestanden.

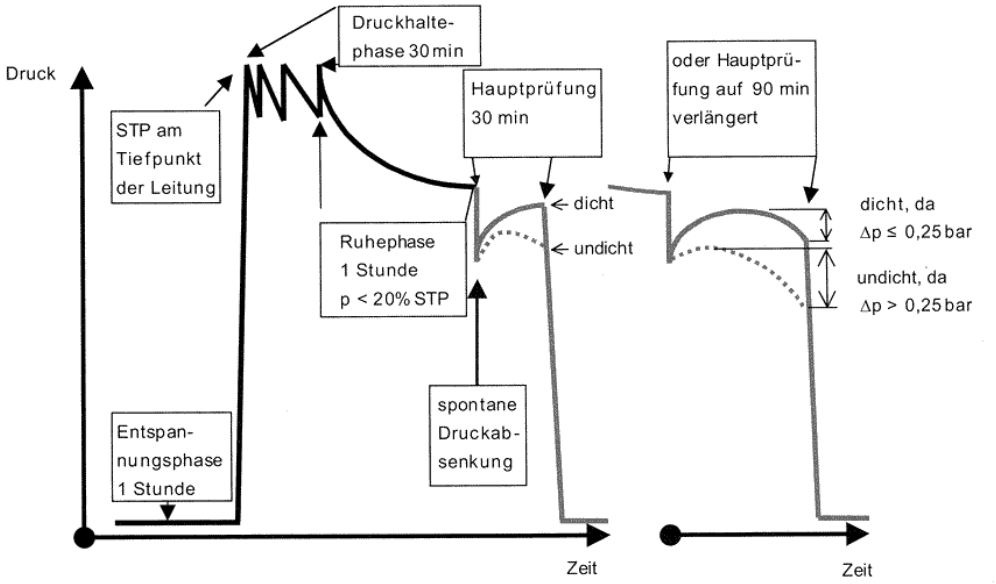

Abbildung 16: Beispiel für den Druckverlauf des Kontraktionsverfahrens bei einer dichten und einer undichten Druckleitung aus PE [8]

In Fall von Frostgefahr muss der Flächenkollektor bis zum Anschluss an die übrigen Leitungsteile und der endgültigen Befüllung mit der Trägerflüssigkeit vollständig entleert werden.

6.2.4 Überschüttung

Aufgrund der guten Wärmeleitung sollten Flächenkollektoren in feuchten und lehmigen Böden verlegt werden. Bei Schotterböden sollten die Flächenkollektoren mit feinem Material eingesandet werden, damit ein guter Wärmeübergang zum Kollektorrohr gewährleistet ist. Wird der Flächenkollektor in einer Hanglage verlegt, muss in jedem Kollektorkreis am höchsten Punkt eine Entlüftung vorgesehen werden.

Nach dem Überschütten muss der Durchfluss bestimmt werden, um die Funktionsfähigkeit des Flächenkollektors nachzuweisen. Die Bestimmung des Durchflusses kann durch eine Druckdifferenzmessung bei konstanter Durchflussrate erfolgen. Werte für die zulässige Druckdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf des Flächenkollektors sind in Abhängigkeit des Durchmessers und der Länge der Kollektorrohre sowie des gemessenen Durchflusses in [26] zu finden.

6.3 *Einbau der Leitungsteile*

Leitungsteile dürfen nur von entsprechend qualifizierten Fachfirmen eingebaut werden. Die Bauteile sind vor dem Einbau auf Beschädigungen und Verunreinigungen zu kontrollieren. Bei Arbeiten in Rohrgräben ist den Bestimmungen der DIN 4124 [10] zu entsprechen. Rohrgräben mit einer Tiefe > 1,75 m sind immer zu verbauen. Der Rohrgraben ist so anzulegen, dass alle Leitungsteile in frostsicherer Tiefe liegen.

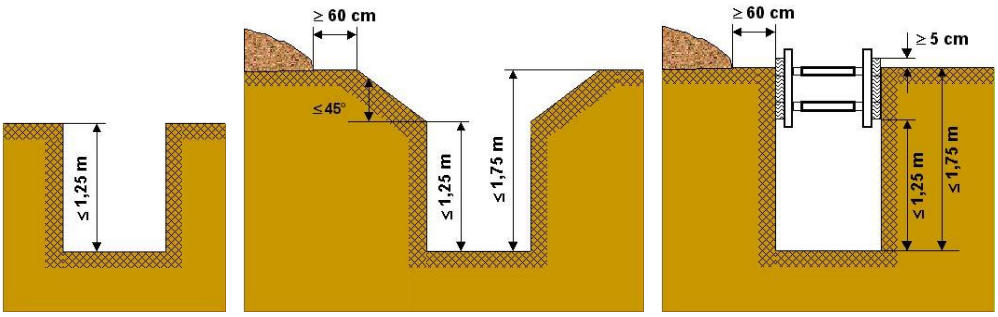

Abbildung 17: Sicherung von Rohrgraben gemäß DIN 4124 [10]

Die Leitungsteile dürfen nicht unmittelbar neben Ver- und Entsorgungsleitungen verlegt werden. Es wird empfohlen, Leitungsteile bei Temperaturen unter 5 °C nur unter Anwendung besonderer Maßnahmen z.B. Vorwärmen zu verlegen.

6.4 *Verbindungstechnik*

Alle Verbindungen sind korrosions- und frostsicher auszuführen. Die Materialien dürfen nicht mit dem Wärmeträgermedium reagieren oder durch Kondenswasser angegriffen werden. In nach dem Einbau unzugänglichen Bereichen müssen die Verbindungen stoffschlüssig ausgeführt werden. Schweißarbeiten dürfen nur von ausgebildeten Kunststoff-Rohrschweißern ausgeführt werden. Die Verbindungen müssen entsprechend Tabelle 8 ausgeführt werden.

Tabelle 8: Zulässige Verbindungsarten von Rohren und Formteilen

Rohr	Formteil	Verbindungsart	Bemerkung
PE 100 PE 100-RC	PE 100	Schweißen (HS, HM, HD)	DVS 2207-1 [2]
PE 100 PE 100-RC	PE-RT Typ II[1)]	Schweißen (HS, HM, HD)	In Anlehnung an DVS 2207-1 [2]
PE-RT Typ II[1)]	PE 100 PE-RT Typ II	Schweißen (HS, HM, HD)	In Anlehnung an DVS 2207-1 [2]
PE-X	PE 100	Schweißen (HM)	DVS 2207-1 Beiblatt 1 [35]
PP-R	PP-R	Schweißen (HM, HD)	DVS 2207-11 [36]
PB-1	PB-1	Schweißen (HM, HD)	In Anlehnung an DVGW-W 534 [37]

[1)] Die Verschweißbarkeit des PE-RT Rohres bzw. Formstückes mit Rohren bzw. Formstücken aus PE 100 oder PE 100 RC muss vom Hersteller bestätigt werden.

HS: Heizelement-Stumpfschweißen
HM: Heizwendelschweißen
HD: Heizelement-Muffenschweißen

Horizontale Leitungen dürfen in nach der Verlegung zugänglichen Bereichen sowohl stoffschlüssig als auch kraftschlüssig angeschlossen werden.

7 Einmessen und Bestandszeichnungen

Beim Einbau von Erdwärmesonden muss die Lage der Bohrungen in einem Lageplan mit Gauss-Krüger-Koordinaten verzeichnet werden. Die Geländehöhe des Bohransatzpunktes wird ebenfalls eingemessen und dokumentiert.

Die Lage eines Flächenkollektors wird eingemessen und in einem Lageplan dokumentiert. Die Dokumentation kann in Anlehnung an DIN 2425-2 [38] erfolgen.

8 Abnahme

Nach dem Abschluss der Arbeiten sind dem Auftraggeber folgende Unterlagen auszuhändigen:

- Schichtenverzeichnis (nur bei Erdwärmesonden),
- Auf Verlangen eine Proben des Bohrgutes (nur bei Erdwärmesonden),
- Qualitätsnachweis über das verwendete Sondenmaterials,
- Nachweis der installierten Sondenmeter,
- Protokoll der Druckprüfung,
- Verpressprotokolle der Hinterfüllung (nur bei Erdwärmesonden),
- Auf Verlangen eine Probe des verwendeten Hinterfüllmaterials (nur bei Erdwärmesonden),
- Nachweis über das verwendete Mischungsverhältnis des Hinterfüllmaterials (nur bei Erdwärmesonden),
- Nachweis über die eingebrachte Verpressmenge je Bohrung (nur bei Erdwärmesonden),
- Lageplan mit der Kennzeichnung der Sonden und
- Fotodokumentation (optional).

9 Inbetriebnahme des Wärmetauschers

Bei der Inbetriebnahme des Wärmetauschers sollten nachfolgende Hinweise beachtet werden:

- Der Wärmetauscher darf nur von geschultem Fachpersonal in Betrieb genommen werden.
- Bei der Wahl der Trägerflüssigkeit die Vorgaben des Herstellers der Wärmepumpe beachten.
- Der Anlagenbetreiber ist in die Bedienung, die Wartung und das Verhalten im Störfall einzuweisen.

Im Fall eines Abfalls des Flüssigkeitsdrucks in der Anlage muss die Umwälzpumpe selbsttätig abschalten. Jeder Sondenkreislauf ist mit einer Absperrarmatur zu versehen.

10 Außerbetriebnahme des Wärmetauschers

Bei Außerbetriebnahme eines Wärmetauschers sind Gefährdungen des Grundwassers auszuschließen. Die Wärmeträgerflüssigkeit muss ausgespült und fachgerecht entsorgt werden. Gegebenenfalls sollte die Erdwärmesonde zur Verhinderung von Wasserwegsamkeiten fachgerecht verfüllt werden.

11 Literatur

[1] DVGW-W 120-1: Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau, -regenerierung, -sanierung und -rückbau, Arbeitsblatt (Entwurf) des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 07/2010.

[2] DVS 2207-1: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD, Regelwerk des DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf, DVS Verlag 09/2005.

[3] DVS 2212-1: Prüfung von Kunststoffschweißern - Prüfgruppen I und II, Regelwerk des DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf, DVS Verlag 05/2006.

[4] DVS 2213: Fachmann für Kunststoffschweißen – Prüfung, Regelwerk des DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf, DVS Verlag 08/1996.

[5] DVGW-W 101: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser Arbeitsblatt des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 06/2006.

[6] DVGW-W 116: Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser, Merkblatt des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 04/1998.

[7] DVGW-W 120-2: Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik und oberflächennahe Geothermie (Erdwärmesonden), Arbeitsblatt (Entwurf) des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 12/2010.

[8] DVGW-W 400-2: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 2: Bau und Prüfung, Arbeitsblatt des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 09/2004.

[9] DVGW-W 135: Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen, Arbeitsblatt des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 11/1998.

[10] DIN 4124: Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten, Berlin, Beuth Verlag 10/2002.

[11] DIN EN 805: Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden, Berlin, Beuth Verlag 03/2000.

[12] DIN 8901: Kälteanlagen und Wärmepumpen - Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser - Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen und Prüfung, Berlin, Beuth Verlag 12/2002.

[13] DIN 4023: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen, Berlin, Beuth Verlag 02/2006.

[14] DIN EN ISO 22475-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung, Berlin, Beuth Verlag 01/2007.

[15] VDI 4640 Blatt 1: Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, Berlin, Beuth Verlag 06/2010.

[16] VDI 4640 Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, Berlin, Beuth Verlag 09/2001.

[17] VDI 4640 Blatt 3: Thermische Nutzung des Untergrundes - Unterirdische Thermische Energiespeicher, Berlin, Beuth Verlag 06/2001.

[18] VDI 4640 Blatt 4: Thermische Nutzung des Untergrundes - Direkte Nutzungen, Berlin, Beuth Verlag 04/2009.

[19] DIN EN 10204: Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen, Berlin, Beuth Verlag 01/2005.

[20] Sichere Sonden- und Verbindungstechnik mit FRIALEN Geo, Projektbericht Nr.1/2011, FRIATEC AG, Division Technische Kunststoffe, Mannheim.

[21] VDI 4640 Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, Berlin, Beuth Verlag 09/2001.

[22] Heizen mit Wärmepumpe – klimafreundlich, zukunftssicher, wartungsarm, Informationsbroschüre für Bauherren für das umweltfreundliche Heizen mit der Wärmepumpe, Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V., Berlin, Februar 2011.

[23] Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), das zuletzt durch Artikel 15a des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist.

[24] Objektbericht 10/2009: Baustelle Eidgenössische Technische Hochschule HPL Life Science Platform Zürich, HakaGerodur, Benken.

[25] Informationen der Gerodur MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG, Neustadt.

[26] SIA 384-6: Erdwärmesonden, Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 2010.

[27] Objektbericht 03/2008: Erdwärmesonden für Einstein Congress St. Gallen, HakaGerodur, Benken.

[28] Projektbericht GEROtherm®-Erdwärmesystem 03/2011: Neues Schulzentrum Kriegsheim, Frankreich, HakaGerodur, Benken.

[29] Produktkatalog: FRIALEN® GEO 02/10.

[30] Produktkatalog: Geothermie Komplettsysteme, GWE pumpenboese GmbH, Peine.

[31] ATV-DVWK A-127: Richtlinie für die statische Bemessung von Abwasserkanälen und –leitungen, Regelwerk der Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, August 2000.

[32] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen, Berlin, Beuth Verlag 12/1985.

[33] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen Berlin, Beuth Verlag 10/1997.

[34] Rohner, Ernst: Anpassen der Druckprüfung nach DIN V 4279-7 für Erdwärmesonden aus Polyethylen, BFE Schlussbericht, Dezember 2005.

[35] DVS-2207-1 Beiblatt 1: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren aus PE-X mit Rohrleitungsteilen aus PE-HD, Regelwerk des DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf, DVS Verlag 12/2005.

[36] DVS 2207-11: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen - Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PP, Regelwerk des DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Düsseldorf, DVS Verlag 08/2008.

[37] DVGW-W 534: Rohrverbinder und Rohrverbindungen in der Trinkwasser-Installation, Arbeitsblatt des Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 05/2004.

[38] DIN 2425-2: Planwerke für die Versorgungswirtschaft, die Wasserwirtschaft und für Fernleitungen; Rohrnetzpläne der Fernwärmeversorgung, Berlin, Beuth Verlag 07/1977.

Herausgeber:
Kunststoffrohrverband e.V.
Fachverband der Kunststoffrohr-Industrie
Kennedyallee 1-5
D-53175 Bonn
Telefon: 02 28 / 9 14 77-0
Telefax: 02 28 / 9 14 77-19
kunststoffrohrverband@krv.de