



Oberflächennahe Geothermie - Wasserwirtschaftliche Aspekte



Fachtagung am 11. März 2009

UmweltSpezial



Oberflächennahe Geothermie – Wasserwirtschaftliche Aspekte

Fachtagungen am 11. März und 06. Mai 2009

UmweltSpezial

Impressum

Oberflächennahe Geothermie - Wasserwirtschaftliche Aspekte
Fachtagung des LfU am 11.03. und 06.05.2009

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (08 21) 90 71-0
Fax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Redaktion:

LfU Referat 12

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt / Autoren

Druck:

Eigendruck Bayer. Landesamt für Umwelt

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

März 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

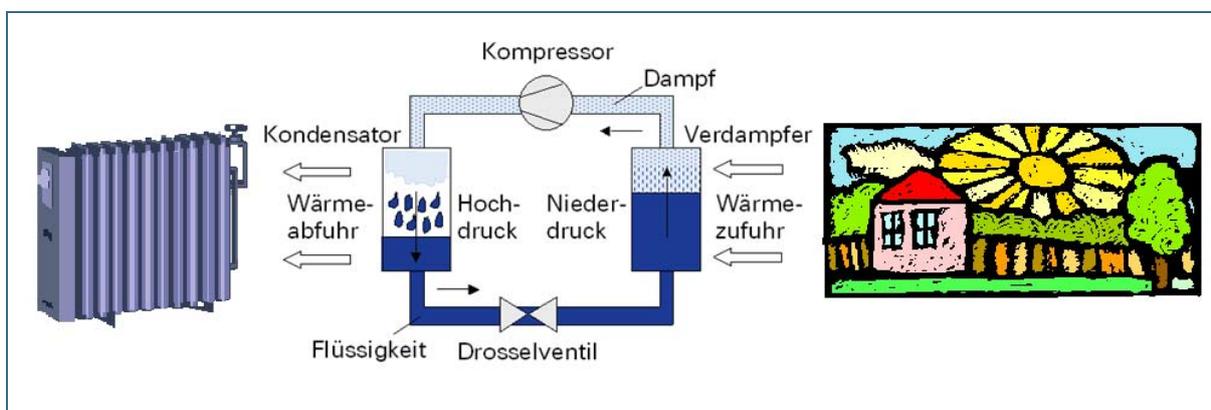
Inhaltsverzeichnis

Umgang mit wassergefährdenden Stoffen im Bereich der Oberflächennahen Geothermie	5
Thomas Wagner, Bayer. Landesamt für Umwelt	
Erdwärmekollektoren – wasserwirtschaftliche Anforderungen	8
Carla Landgraf, Bayer. Landesamt für Umwelt	
Erdwärmesonden	19
Hannes Berger, Bayerisches Landesamt für Umwelt	
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden – Worauf kommt´s an?	35
Dr. Jörg Dietrich, HeidelbergCement, Baustoffe für Geotechnik GmbH & Co. KG	
Beurteilung der Bohrergergebnisse bei Erdwärmesonden Erfahrungen aus der Sicht des Wasserwirtschaftsamtes Kempten	51
Dr. Michael Procher, Wasserwirtschaftsamt Kempten	
Überwachung von Erdsondenbohrungen in Frankfurt am Main	66
Karin Schwarz, Umweltamt Frankfurt am Main, Untere Wasserbehörde (UWB)	
Grundwasserwärmepumpen	73
Hannes Berger, Bayerisches Landesamt für Umwelt	
Private Sachverständige als Partner in der Wasserwirtschaft	80
Dipl.-Ing. Bernhardt Heller, Verband Privater Sachverständiger in der Wasserwirtschaft	
Wasserrechtliche Behandlung von Geothermieanlagen	84
Michaela Baar, Landratsamt München	
Informationsoffensive Oberflächennahe Geothermie	88
Marcellus Schulze, Bayerisches Landesamt für Umwelt	
Tagungsleitung / Moderation / Referenten	99

Umgang mit wassergefährdenden Stoffen im Bereich der Oberflächennahen Geothermie

Thomas Wagner, Bayer. Landesamt für Umwelt

Im Bereich der Oberflächennahen Geothermie wird die in Form von Wärme gespeicherte Energie aus Luft, Wasser und Erdreich meist mit Hilfe von Wärmepumpen zum Heizen und zur Warmwasserbereitung genutzt. Wärmepumpen heben die dem Grundwasser oder dem Erdreich entzogene Wärmeenergie auf ein höheres, nutzbares Temperaturniveau. Als Arbeitsmittel in Wärmepumpen werden meist Kältemittel wie teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), z.B. R410a oder R407c, verwendet.



Das Arbeitsmittel wird gasförmig von einem Verdichter (Kompressor) angesaugt und verdichtet. In einem Wärmetauscher (Kondensator) wird dem verdichteten Arbeitsmittel Wärme (zur Heizung oder Warmwasserbereitung) entzogen, es kondensiert. Die Flüssigkeit wird über eine Drossel entspannt (Druckreduzierung).

Die Wärme des Erdreichs wird von Sonden oder Kollektoren aufgenommen, in denen Gemische aus Glykol (Ethylen- oder Polyethylenglykol) und Wasser oder Salzlösungen zirkulieren. Die Wärmeenergie wird an den Verdampfer der Wärmepumpe abgegeben. Dort verdampft das Arbeitsmittel und wird vom Kompressor angesaugt.

Als Sonderbauform wird bei Direktverdampferanlagen der Verdampfer der Wärmepumpe z. B. als Kollektor im Erdreich verlegt. Damit wird ein Wärmeübergangswiderstand eingespart. Im Kollektor zirkuliert das Kältemittel der Wärmepumpe.

R410a und R407c sind gasförmige wassergefährdende Stoffe, die in die Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 – schwach wassergefährdend – eingestuft sind.

Die in Sonden und Kollektoren verwendeten Wärmeträger sind wässrige Lösungen. Die darin enthaltenen Salze und Glykole sind flüssige wassergefährdende Stoffe der WGK 1.

Grundlage der Einstufung ist die Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS).

Neben den genannten Stoffen enthalten die Gemische in Sonden und Kollektoren weitere Additive wie z. B. Korrosionsinhibitoren. In den Wärmepumpen ist neben den Kältemitteln auch Schmieröl für den Verdichter vorhanden, das zum kleinen Teil im Kreislauf mit zirkuliert. Auch Additive und Schmieröle sind wassergefährdende Stoffe.

Anlagen, die wassergefährdende Stoffe unter Ausnutzung ihrer Eigenschaften (hier: Wärmespeichervermögen) benutzen, werden als Verwendungsanlagen bezeichnet. Für sie gelten die Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) – §§ 19g bis 19l – und der Anlagenverordnung (VAwS) sowie das Bayer. Wassergesetz (BayWG) – Art. 37.

Verwendungsanlagen müssen mindestens den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen und so beschaffen sein, eingebaut und betrieben werden, dass eine Gewässerverunreinigung nach menschlichem Ermessen unwahrscheinlich ist (Besorgnisgrundsatz). Sie sind rechtzeitig vor Inbetriebnahme der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde anzuzeigen. Anlagenteile wie Behälter und Rohrleitungen müssen dicht, standsicher und widerstandsfähig gegen die zu erwartenden Beanspruchungen sein. Die Anlagen sind so aufzustellen, dass Undichtheiten und ausgetretene Stoffe erkannt, zurückgehalten und beseitigt werden können. Deshalb müssen unterirdische Anlagenteile doppelwandig mit Leckanzeigergerät ausgeführt sein. Unterirdische Rohrleitungen dürfen unter Beachtung weiterer Randbedingungen auch einwandig im dichten Schutzrohr oder als selbstsichernde Saugleitungen verlegt werden.

Für Sonden und Kollektoren von Wärmepumpen wurde in die aktuelle bayer. VAwS eine Ausnahme von dieser grundsätzlichen Anforderung aufgenommen. Demnach dürfen unterirdische Rohrleitungen von Wärmepumpen einwandig sein, wenn

- die als Wärmeträger verwendeten Gemische im Wesentlichen aus Ethylenglykol, Polyethylenglykol oder Calciumchlorid bestehen,
- Zusätze nur in solchen Konzentrationen enthalten sind, dass das Gemisch gemäß Anhang 4 VwVwS in die WGK 1 einzustufen ist,
- die Erdsonden und Bodenkollektoren durch selbsttätige Leckageüberwachungseinrichtungen (baumustergeprüfte Druckwächter) so gesichert sind, dass im Falle einer Leckage der Erdsonde oder der Bodenkollektoren die Umwälzpumpe sofort abgeschaltet und ein Störungssignal ausgegeben wird, und
- die Rohrleitungen vor Inbetriebnahme einer Dichtheitsprüfung mit Wasser bei 0,5 MPa Überdruck unterzogen wurden.

Unterirdische Anlagenteile sind vor Inbetriebnahme, bei einer wesentlichen Änderung, wiederkehrend alle 5 Jahre und bei Stilllegung durch einen Sachverständigen nach VAwS überprüfen zu lassen.

Dem Wortlaut des WHG nach gelten die genannten Anforderungen nur für Verwendungsanlagen im gewerblichen und öffentlichen Bereich. Private Wärmepumpen sind davon also ausgenommen. Für sie gilt anstelle des Besorgnisgrundsatzes die Pflicht, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt aufzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers zu verhüten (§ 1a WHG).

Für Erdwärmepumpen hat die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 2002 einen Anforderungskatalog erarbeitet. Derzeit schreibt eine kleine Arbeitsgruppe der LAWA diesen Katalog fort. Im Wesentlichen ist das Ziel, an die privaten Anlagen dieselben Anforderungen wie an die gewerblichen zu stellen, da die mögliche Gefährdung des Gewässers nicht von der Rechtsform des Betreibers abhängt. Ein Betreiber hat erst dann die notwendige Sorgfalt aufgewendet, wenn die getroffenen Maßnahmen auch eine Besorgnis ausschließen würden. Die Alternative besteht darin, auf wassergefährdende Stoffe als Wärmeträger in den unterirdischen Rohrleitungen zu verzichten und nicht wassergefährdende Stoffe (z. B. Wasser) zu verwenden. Als nicht wassergefährdende Arbeitsmittel in Wärmepumpen sind Gase wie z. B. Propan bereits im Einsatz.

Bei der Errichtung von Wärmepumpen können Wasserwirtschaftsamt, Kreisverwaltungsbehörde (Rechtsbehörde und Fachkundige Stelle Wasserwirtschaft), PSW und Sachverständige nach VAWS beteiligt sein. Im Rahmen von Erlaubnisverfahren nach Art. 17a BayWG sind vom Anlagenbetreiber PSW mit dem Anerkennungsbereich „Thermische Nutzung“ für die Begutachtung und etwaige Abnahme, auf Anordnung der Kreisverwaltungsbehörde PSW mit dem Anerkennungsbereich „Bauabnahme“ zur Prüfung der ordnungsgemäßen Errichtung einzuschalten.

Bei Erteilung einer Erlaubnis nach Art. 17 BayWG hat der Bauherr nach Fertigstellung der Anlage der Kreisverwaltungsbehörde (unaufgefordert) ein Protokoll der Bauabnahme durch einen PSW vorzulegen, sofern die Kreisverwaltungsbehörde nicht im Wasserrechtsbescheid auf die Bauabnahme verzichtet.

Das Wasserwirtschaftsamt kann die Bauabnahme aber im Rahmen der Begutachtung im Erlaubnisverfahren nach Art. 17 oder im Rahmen der Prüfung der Anzeige – auch bei Vorhaben die unter Art. 17a fallen – der Kreisverwaltungsbehörde empfehlen.

Die Fachkundige Stelle ist unabhängig von den oben ausgeführten Aufgaben der KVB, des WWA und des PSW für den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen zuständig. Sie wird ggf. tätig, wenn die KVB von der Wärmepumpe durch einen Antrag auf Erlaubnis oder eine Anzeige Kenntnis erhält. Sie wird in jedem Fall bei der Errichtung von Wärmepumpen tätig, die unter die VAWS fallen.

Der Sachverständige nach VAWS ist vom Betreiber mit der Prüfung der prüfpflichtigen Anlagen und Anlagenteile zu beauftragen. Bei Wärmepumpen sind dies aufgrund des relativ geringen Stoffinventars im Wesentlichen die unterirdisch verlegten Rohrleitungen der Kollektoren und Sonden. Der Sachverständige ist frühzeitig einzuschalten, um mit dem errichtenden Fachbetrieb Inhalt und Umfang der vorzulegenden Nachweise (z.B. über die Druckprüfung) sowie seine persönlichen Anwesenheitstermine für die Prüfung vor Inbetriebnahme abstimmen zu können. Empfehlenswert ist eine Abstimmung des VAWS-Sachverständigen mit dem PSW, um Doppelprüfungen zu vermeiden. Unter Umständen kann auf die Bauabnahme durch den PSW verzichtet werden, wenn der VAWS-Sachverständige deren vollen Umfang abdeckt.

Sämtliche zitierte Vorschriften finden Sie auf der Internetseite des Infozentrums UmweltWirtschaft (IZU) <http://www.izu.bayern.de> unter dem Fachthema Wasser – Recht/Vollzug.

Erdwärmekollektoren – wasserwirtschaftliche Anforderungen

Carla Landgraf, Bayer. Landesamt für Umwelt



Gliederung

1. Definition Erdwärmekollektoren
2. wesentliche Einflussgrößen
3. Erläuterungen am Horizontalkollektor (Funktionsweise, Vorteile, Nachteile usw.)
4. Sonderbauformen
5. Besonderheit Direktverdampfer
6. Wasserwirtschaftliche Anforderungen
 - allgemein
 - im Grundwasser
 - im Wasserschutzgebiet
7. Ausblick und Literaturhinweise

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

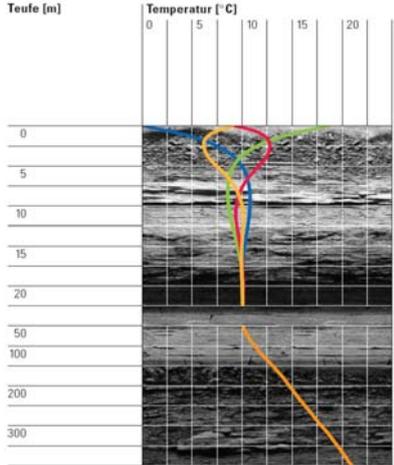
Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Definition und Erdwärmeentstehung

- Definition: Erdwärmekollektoren sind Wärmeübertrager, die horizontal oder schräg in den oberen **5 Metern** des Untergrundes eingebaut werden. (gemäß VDI 4640 Blatt 1)

- Erdwärme entsteht durch:
 - Prozesse im Erdinneren (Durchschnittswert für Deutschland 0,065 W/m²)
 - Niederschläge (bei der Niederschlagsmenge im Mittelgebirges ca. 0,58 W/m²)
 - Sonneneinstrahlung (max. in Mitteleuropa ca. 900 W/m² bei Bewölkung im Winter ca. 20 W/m²)

■ Februar
■ Mai
■ August
■ November



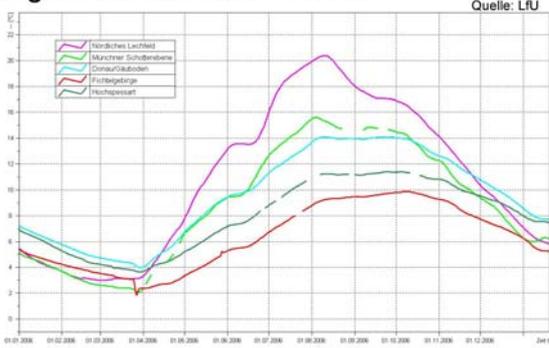
3 ©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

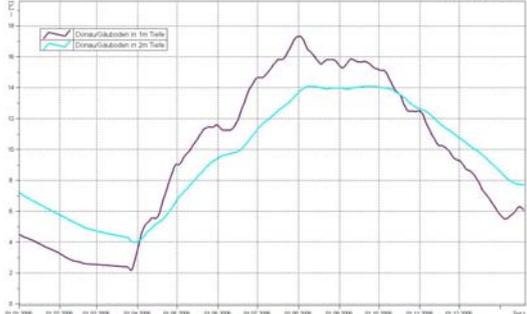
Temperaturen im Boden im Bereich der Erdwärmekollektoren

- deutliche Temperaturänderung im Jahresverlauf
- im Winter sinkt die ungestörte Erdreichtemperatur abhängig von den klimatischen Bedingungen und den Bodeneigenschaften auf ca. +2°C



Temperaturganglinie in 2m Tiefe

Quelle: LfU





Quelle: LfU

4 ©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Bayerisches Landesamt für Umwelt

örtliche Einflussfaktoren

z. B.

- Höhenlage
- Wind
- Sonneneinstrahlung
- Boden
 - ❖ Wärmeleitfähigkeit (λ)
 - ❖ Wärmekapazität (C_V)

	λ [W/mK]	C_V [MJ/(m ³ ·K)]
Ton/Schluff trocken	0,4-1,0	1,5-1,6
Ton/Schluff, wassergesättigt	1,1-3,1	2,0-2,8
Sand, trocken	0,3-0,9	1,3-1,6
Sand, feucht	1,0-1,9	1,6-2,2
Sand, wassergesättigt	2,0-3,0	2,2-2,8
Wasser	0,59	4,15
Luft	0,02	0,0012
Eis	2,3	1,9

Quelle: Auszug aus VDI 4640 Teil 1

m unter BAP
Bohrprofil FB Jügesheim
T S K
Terrasse des Main
Pleistozän
15,7 m

Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 2,20 2,40 2,60 2,80 3,00

0 10 20 30

T2
T1

Untersuchungen der Wärmeleitfähigkeit an einem Bohrprofil
 $\lambda = 1,2$ [W/(m·K)] trockner Sand
 $\lambda = 2,9$ [W/(m·K)] Sand im Grundwasser

Quelle: "In-Situ-Messung zur Bestimmung geothermischer Untergrundkennwerte",
Zeitschrift "Grundwasser", Autoren: S. Homuth, K. Hamm, S. Rumohr, I. Sass

5
©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Quelle: Danfoss GesmbH

Funktionsweise am Beispiel eines Horizontalkollektors

- horizontal, in Schlaufen verlegte Kunststoffrohre
- Kollektorkreislauf ist mit Sole befüllt auf der Basis von Ethylenglykol, Propylenglykol oder Calciumchlorid (geschlossenes System)
- die Sole entzieht dem wärmeren, Erdreich die Energie

zur Funktion Wärmepumpe

6
©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



Hinweise zu Horizontalkollektoren

- Flächenbedarf nach Erfahrungswerten ca. 1,5 - 2 mal der zu beheizenden Fläche
- Bei der Dimensionierung sind neben den Bodeneigenschaften auch die klimatischen Bedingungen und die hydraulischen Auslegungen mit zu berücksichtigen (→ Diss. Ramming)

Untergrund	Spez. Entzugsleistung bei 1800 h [W/m ²]	Spez. Entzugsleistung bei 2400 h [W/m ²]
Trockener, nicht bindiger Boden	10	8
Bindiger Boden, feucht	20 -30	16 -24
wassergesättigter Sand/Kies	40	32

Quelle: VDI 4640 Blatt 2

- Verlegetiefe 1,2 – 1,5m unter GOK (ca. 0,2 m unter Frosttiefe)
- Verlegeabstand der Kollektorrohre (0,3) 0,5 – 0,8m
Eisradien beachten → Hebungen und Setzungen
- Angaben zum Rohrmaterial beachten
z.B. Sandbettung, Biegeradien, Temp.-bereich usw.
- Hochpunkt am Sammelschacht - Entlüftung
- gleichlange Kollektorkreise usw.

7

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



Horizontalkollektoren

Vorteile

- unkompliziert bzgl. Auslegung und Einbau
- geringere Anschaffungskosten
- lange Lebensdauer bei ordnungsgemäßen Betrieb
- vollständige Regeneration

Nachteile

- großer Flächenbedarf
- Überbauung / Versiegelung der Fläche nicht möglich
- abhängig von jahreszeitlichen Temperatureinflüssen

8

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

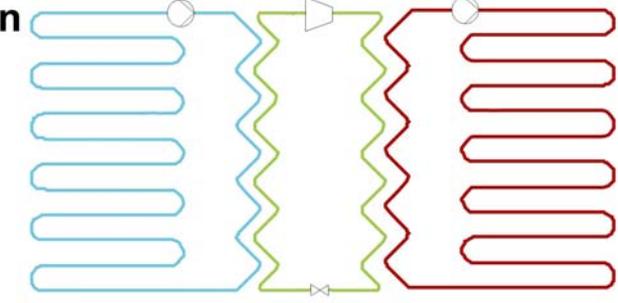
Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Bauformen

solebetriebene Kollektoren

- Horizontalkollektor
- Sonderbauformen
 - Vertikalkollektor
 - Erdwärmekörbe (zylindrisch oder kegelstumpf)
 - Grabenkollektoren
 - Kompaktkollektoren



Solekreislauf Kältemittelkreislauf Heizkreislauf

Direktverdampfer

sind eine Sonderbauart von Wärmepumpenanlagen mit horizontalen Erdwärmekollektoren. Der Erdwärmekollektor wird als Verdampfer genutzt.

9 ©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Vertikalkollektoren



Quelle: LfU



Quelle: LfU

10 ©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Erdwärmekörbe



Quelle: IWS 2008



Quelle: betaTherm 2008



Quelle: betaTherm 2008





Quelle: LfU

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Sonderbauformen (Vertikalkollektor, Erdwärmekörbe usw.)

Vorteile

- geringer Flächenbedarf
- unkomplizierter Einbau
- lange Lebensdauer bei ordnungsgemäßen Betrieb

Nachteile

- Überbauung / Versiegelung der Fläche nicht möglich
- abhängig von jahreszeitlichen Temperatureinflüssen
- aufgrund starker Vereisung ggf. Hebungen und Setzungen
- i.d.R. je tiefer der Kollektor je schlechter die Regeneration



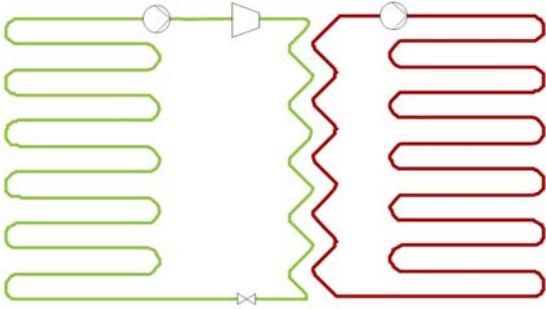
Quelle: LfU

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

Direktverdampfer



KältemittelkreislaufHeizkreislauf

- Bei der Direktverdampfung zirkuliert das Kältemittel der Wärmepumpe selbst als Wärmeträgermedium im Kollektor.
- Propan und Propen sind als Kältemittel aus wasserwirtschaftlicher Sicht zu favorisieren, da sie nicht wassergefährdend sind

materielle Anforderungen nach VDI 4640

- ❖ oberhalb des höchsten GW-spiegels
- ❖ Kupferrohre in Kältequalität mit Schutzummantelung aus PE, PP
- ❖ usw.

13 ©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

derzeitiger Umgang der LRÄ mit Erdwärmekollektoren

- ❖ keine Aussagen zu Erdwärmekollektor
- ❖ Anzeigepflicht bei solebetriebenen und im Grundwasser verlegten Erdwärmekollektoren
- ❖ keine wasserrechtliche Behandlung, wenn der Erdwärmekollektor mindestens 1 m über den höchsten Grundwasserstand
- ❖ Anzeigepflicht mit Formblatt auf der Basis des Art. 34 BayWG

bisherige Informationsquellen

- VDI 4640 Blatt 1 und Blatt 2
- allgemeine Informationen des StMUG z.B. http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/stmugv_klima_00004.htm (oberflächennahe Geothermie)
- Informationen der Industrie usw.

14 ©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



wasserrechtliche Behandlung von Erdwärmekollektoranlagen

private Anlagen

- sind anzeigepflichtig nach Art. 34 BayWG, wenn sie auf das GW einwirken können (bei einem Abstand von mindestens 1 m über dem höchsten GW-stand kann davon ausgegangen werden, dass ein Einwirken auf das GW nicht gegeben ist)

Anlagen im gewerblichen Bereich und in öffentlichen Einrichtungen

- sind anzeigepflichtig nach Art. 34 BayWG wenn sie auf das GW einwirken können (bei einem Abstand von mindestens 1 m über dem höchsten GW-stand kann davon ausgegangen werden, dass ein Einwirken auf das GW nicht gegeben ist)
- unterliegen der VAWs – anzeigepflichtig nach Art. 37 BayWG, nur wenn keine Anzeige nach Art. 34 BayWG erforderlich ist

**Prüfung durch LRA
ist ein Einwirken auf das GW gegeben
→ wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich
(Benutzung nach § 3 Abs. 2 WHG)**

15

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



materielle Anforderungen an Erdwärmekollektoranlagen

Voraussetzungen nach dem technischen Aufbau sind, dass:

- lösbare Verbindungen und Armaturen in dichten Kontrollschächten angeordnet sind, die durch regelmäßige Sichtkontrollen oder durch Leckageerkennungssysteme überwacht werden
- wenn nur Gemische als Wärmeträgermittel auf der Basis von Ethylenglykol, Propylenglykol und Calciumchlorid oder **nicht wassergefährdende Stoffe** eingesetzt werden
- Zusätze (z.B. **Korrosionsinhibitor**) nur in solchen Konzentrationen enthalten sind, dass das Gemisch in die WGK 1 einzustufen ist
- die Anlagen durch selbsttätige Leckageüberwachungseinrichtungen (baumustergeprüfte Druckwächter) so gesichert sind, dass im Fall einer Leckage der Bodenkollektoren die Umwälzpumpe sofort abgeschaltet und ein Störungssignal abgegeben wird, und
- die Rohrleitungen vor Inbetriebnahme einer Dichtheitsprüfung mit Wasser bei 0,5 MPa Überdruck unterzogen wurden.
- das Rohrmaterial ist geeignet, dicht, langlebig
Herstellerhinweise beachten z.B. PE Rohre sind im Sandbett zu verlegen, Druckvorgaben, Temperaturbegrenzungen beachten, Biegeradien usw.

16

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



Erdwärmekollektoranlagen im Grundwasser

- wasserrechtliche Benutzung nach § 3 Abs. 2 WHG → Erlaubnis erforderlich
- falls Erlaubnis möglich, nur mit erhöhter materieller Anforderung bezüglich des Rohrmaterials hier ist nur PE-X oder gleichwertiges Material zulässig und einzeln absperrbare Kollektorkreise
- keine Verbindung im Grundwasser

Rohrmaterial

17

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



Rohrmaterial für Erdwärmekollektoren

Material für Erdwärmekollektoren

- PE 100
 - Sandbett erforderlich
 - Temperaturbereich -20 bis 30 °C
 - Biegeradien, Verarbeitungstemperaturen usw.
- PE-X (vernetztes Polyethylen) oder PE-RC bzw. gleichwertiges spannungs- und punktlastbeständiges Material
 - keine Sandbett erforderlich
 - Vorteil: keine Fortpflanzung von Riefen und Kerben
 - Temperaturbereich -40 bis 90°C (PE-RC Temp-bereich -20 bis 30°C)

EWK im GW

23

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

wasserwirtschaftliche Anforderungen in Wasserschutzgebieten

- Großflächige Eingriffe (Aufschlüsse oder Veränderung der Erdoberfläche – Musterschutzgebietsverordnung Nr.1.1), die im Zusammenhang mit üblicher Wohnbebauung stehen, wie z. B. Bodeneingriffe für Erdwärmekollektoren zur oberflächennahen geothermischen Nutzung sind hinsichtlich Eingrifftiefe und Flächenumfang **einzelfallbezogen zu bewerten**.
- Ausnahmegenehmigungen für diese Vorhaben kommen in Zone III (A und B) nur für **solebetriebene** Kollektoren bei einer verbleibenden **Deckschicht** unter der Anlage von **mindestens 2 m Mächtigkeit** in Betracht und mit der Bedingung, die ursprünglichen Bodenauflage wiederherzustellen.
- Sowie sämtliche **Auflagen wie bei der Verlegung im Grundwasser**.

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf

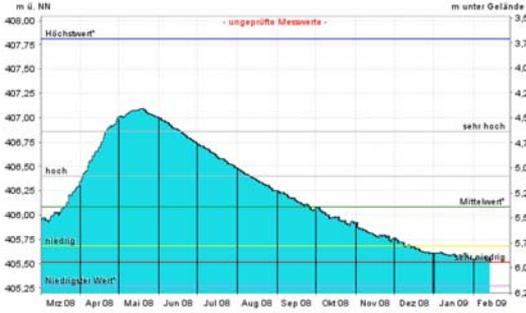
Bayerisches Landesamt für Umwelt 

Erdwärmekollektoren - wasserwirtschaftliche Anforderungen

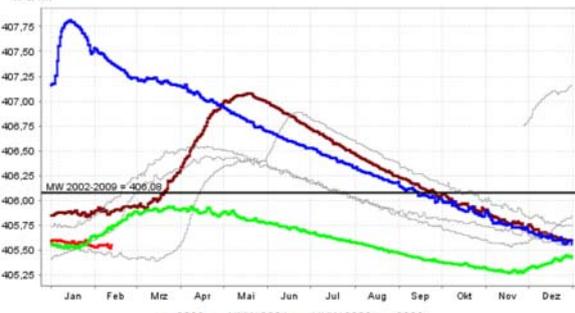
Grundwasserstände am Beispiel Altenstadt

Messstelle: ALTENSTADT WN BR 2
 Grundwasserleiter: Niederterrasse
 m ü. NN
 Nr: 24162
 Geländehöhe: 411,45 m ü. NN
 m unter Gelände

Höchster Wert: 407.81 m ü. NN
 Niedrigster Wert: 405.27 m ü. NN
 Mittelwert: 406.08 m ü. NN
 Beobachtet seit: 01.11.2002



Messstelle: ALTENSTADT WN BR 2
 Jahresganglinienvergleich
 Grundwasserleiter: Niederterrasse
 m ü. NN
 Nr: 24162
 Zeitraum: Nov 2002 - Feb 2009
 Geländehöhe: 411,45 m ü. NN



Grundwasserstände schwanken!!

©LfU/Referat 93 / Carla Landgraf



Aussichten

Überarbeitung

- der VDI 4640 Blatt 1 und 2
- des LAWA Papier "Anforderungen an Erdwärmepumpen"

Fertigstellung des Merkblattes "Erdwärmekollektoren"

Kontakt

- Bayerisches Landesamt für Umwelt
Hans-Högn-Str. 12
95030 Hof
- Tel. 09281/1800 - 0
Durchwahl - 4937
Fax - 4519
- e-mail
poststelle@lfu.bayern.de bzw. direkt
carla.landgraf@lfu.bayern.de



Literaturhinweise

- **VDI 4640 Blatt 1 und 2**
- **DIN 8901**
- **LAWA – Papier "Anforderungen an Erdwärmepumpen"**
- Studie der WOHNBAUFORSCHUNG NIEDERÖSTERREICH
"Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität"
<http://www.noe-wohnbauforschung.at/> (Projekte, Nr. 2127)
- Dipl.-Ing. (FH) Klaus Ramming
"Bewertung und Optimierung oberflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle"
Dissertation TU Dresden (April 2007)
- Michael Tholen, Simone Walker-Hertkorn
"Arbeitshilfen Geothermie"; ISBN 978-3-89554-167-4
allgemeine Informationen zur oberflächennahen Geothermie

Erdwärmesonden

Fachgerechter Betrieb, Herstellung nach dem Stand der Technik, Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Anforderungen

Hannes Berger, Bayerisches Landesamt für Umwelt

Einführung

Erdwärmesonden sind gemäß VDI-Richtlinie 4640 Wärmeüberträger, die vertikal oder schräg in den Untergrund eingebracht werden. Mit ihnen kann dem Untergrund zu Heizzwecken Wärme entzogen bzw. zu Kühlzwecken Wärme zugeführt werden.

Es muss darauf geachtet werden, dass diese Anlagen nicht nur energieeffizient, sondern auch sicher und mit dem Grundwasserschutz vereinbar sind.

Dem Bauherrn und den ausführenden Firmen obliegt die Pflicht, die ordnungsgemäße Erstellung bzw. den ordnungsgemäßen Betrieb der Sonderanlage sicherzustellen.

Aus Sicht des Umweltschutzes sowie aus Sicht der Wirtschaftlichkeit ist sowohl bei der Auswahl der Materialien wie auch bei der Herstellung von Erdwärmesonden in besonderem Maße auf Qualität zu achten. Durch eine standortbezogene Planung, die insbesondere die wasserwirtschaftlichen Anforderungen berücksichtigt, können die Herstellungskosten gut abgeschätzt werden. Nachträgliche Änderungen oder die Reparatur von Schäden an Erdwärmesonden sind praktisch nicht möglich. Eine lange Lebensdauer der Erdwärmesondenanlage ist angesichts der Investitionskosten, Bedingung für die Wirtschaftlichkeit der Sonderanlage.

Die wasserwirtschaftlichen Anforderungen an Erdwärmesonden sind z. B. im Leitfaden „Erdwärmesonden in Bayern“ dargestellt.

1 Erstellung von Erdwärmesonden

1.1 Planung

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 von Trennschichten und Lage des Grundwasserspiegels). Dadurch können Risiken bei der Erstellung minimiert und die Anlage effizient ausgelegt 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. Die Festlegung der möglichen **Endteufe** und da-

mit notwendigen Anzahl der Bohrungen erfolgt in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt z. B. auf der Grundlage der hydrogeologischen Ergebnisse der Aufschlussbohrung. Die Aufschlussbohrung kann meist zu einer Erdwärmesonde ausgebaut werden, sofern erforderlich ist die Bohrung hierfür in ihrem unteren Abschnitt wasserdicht zu plombieren.

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 und der dazugehörigen Arbeitszahl der Wärmepumpe lässt sich gem. VDI 4640 die **erforderliche Sondenlänge** ableiten.

Bohrtiefe – Eine Durchteufung eines Grundwasserstauers ist grundsätzlich nicht zulässig. Ob die für den Wärmebedarf erforderliche Sondenlänge mit einer oder mehreren Bohrungen erreicht werden kann, ist daher neben der Gesteinsbeschaffenheit wesentlich von der Tiefenlage grundwasserstockwerk-trennender Schichten abhängig.

Bereits aufgrund der beim Bau der Erdwärmesonde verwendeten Materialien ist derzeit eine zuverlässige Abdichtung grundwasserstockwerk-trennender Schichten nicht regelmäßig gewährleistet. Eine wasserdichte Haftung der Verpressmaterialien (z. B. Zement-Bentonit-Suspension) an den glatten Sondenrohren aus Kunststoff ist nicht gegeben. Daher entstehen selbst bei sorgfältig durchgeführter Verpressung **Wasserwegsamkeiten entlang der Sondenrohre**, also ggf. auch zwischen den einzelnen Grundwasserstockwerken. Diese hydraulische Verbindung ist zwar zunächst gering, im Laufe der Zeit gewinnt sie aber immer mehr an Bedeutung, insbesondere bei großen Potenzialunterschieden (stark unterschiedliche Wasserspiegel- bzw. Druckspiegelhöhen).

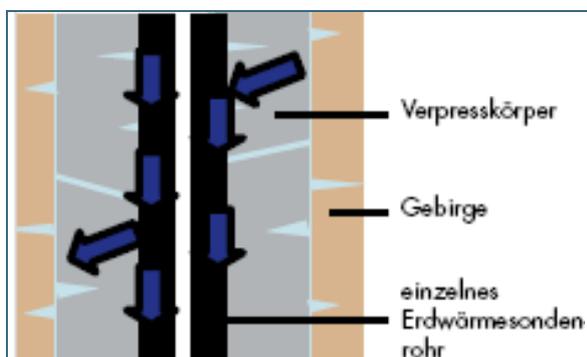


Abb. 1:
Wasserwegsamkeiten
infolge Erosion und
fehlender Haftung
(LfU, Berger)

Weitere Umstände, die eine dauerhaft dichte Verpressung bzw. die zentrische Lage des Sondenbündels in Frage stellen, sind:

- Dehnungen einzelner Sondenrohre infolge von Temperaturdifferenzen aus der Abbindewärme der Zementsuspension sowie unterschiedlicher Betriebstemperaturen (z. B. beträgt die Längenausdehnung eines 100 m langen PE80/100Rohres bei Temperaturdifferenzen von 10 °C ca. 20 cm),
- Druckdehnungen infolge der Druckprüfung,
- Auftriebskräfte, die auf das Sondenbündel während und nach dem Verpressvorgang wirken und eine stauchende Wirkung ausüben.

Sondenabstände – Grundsätzlich ist zu beachten, dass sich Erdwärmesonden bei zu geringem **Abstand** gegenseitig beeinträchtigen können. Zur Vermeidung negativer Einflüsse soll zu benachbarten Sonden ein Mindestabstand von 6 m eingehalten werden. Aufgrund von unvermeidbarer, mit der Tiefe zunehmender Bohrlochrichtungsabweichung sollten die Abstände in Abhängigkeit von der Sondentiefe vergrößert werden (vgl. VDI 4640, Blatt 2). Zur **Grundstücksgrenze** wird ein Abstand von mindestens 3 m empfohlen. 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.

Bohrloch- und Sondenrohdurchmesser – Der Bohrdurchmesser ist so zu wählen, dass um das Sondenbündel ein **Ringraum von mindestens 30 mm** verbleibt (Bohrdurchmesser \geq Sondenbündeldurchmesser + 60 mm), bei Lockergesteinsbohrungen besser 40 mm (entsprechend Sondenbündeldurchmesser + 80 mm).

Beim Durchmesser des Sondenbündels sind ggf. 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.

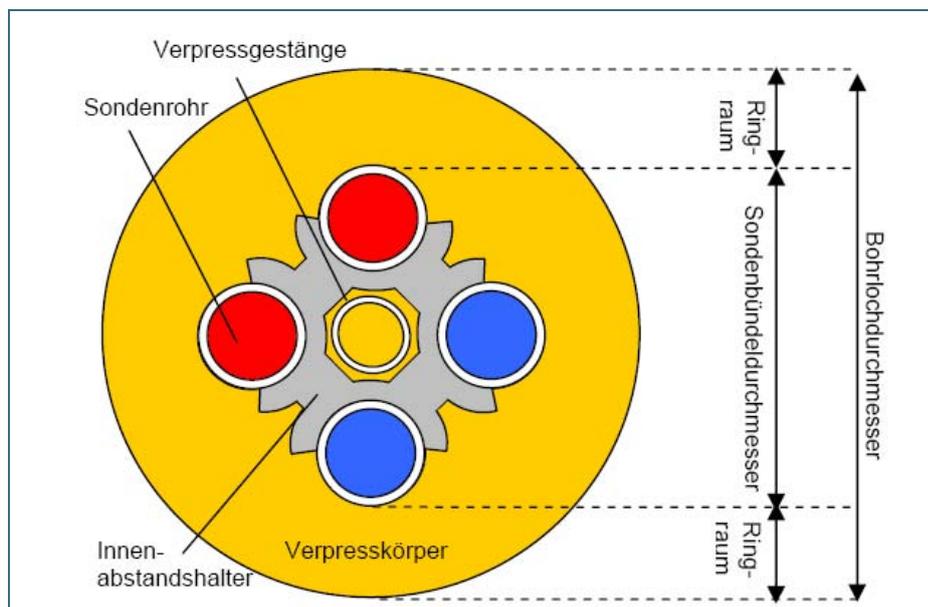


Abb. 2:
Systemschnitt Erdwärmesonde: Bohrlochdurchmesser in Abhängigkeit vom Ringraum und Sondenbündel (LfU, Berger)

Wesentlich für eine optimale Wärmeübertragung von Erdreich auf die Sole ist die Strömungsgeschwindigkeit der Wärmeträgerflüssigkeit im Sondenrohr, die bei minimaler Pumpenleistung noch im Bereich der turbulenten Strömung liegen soll. Dementsprechend ist unter Beachtung der berechneten Sondenlänge der passende Rohrdurchmesser zu wählen. In der Praxis sind äußere Rohrdurchmesser von 25 mm bei flachen (bis ca. 50 m Tiefe) und 32 mm bei tiefen (bis ca. 100 m Tiefe) Erdwärmesonden üblich. Der **Durchmesser des Sondenbündels** beträgt bei den genannten Sondenrohdurchmessern – bei empfohlener Verwendung von Innenabstandshaltern – ca. 90 mm bzw. ca. 110 mm. Somit ergeben sich unter Berücksichtigung von Innenabstandshaltern die mindestens einzuhaltenden Bohrlochdurchmesser für Sondenrohdurchmesser von 25 mm mit 150 mm und für Sondenrohr-

durchmesser von 32 mm mit 170 mm. Ohne Innenabstandshalter sind die Bohrlochenddurchmesser für Sondenrohrdurchmesser von 32 mm mit 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.

Betriebstemperatur – Es muss sichergestellt sein, dass die Temperatur der aus der Wärmepumpe in die Sonde zurückströmenden Wärmeträgerflüssigkeit die geeigneten Temperaturen nicht über- bzw. unterschreitet. Hierfür ist neben einer fachgerechten Dimensionierung auch eine der Dimensionierung entsprechende Betriebsweise erforderlich. Im Heizbetrieb soll die mittlere Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit in der Erdwärmesonde im Dauerbetrieb (Wochenmittel) 0 °C bzw. bei Spitzenlast -5 °C nicht unterschreiten. Wird die Erdwärmesondenanlage auch zur Kühlung verwendet, darf die mittlere Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit im Dauerbetrieb (Wochenmittel) ca. +25 °C bzw. bei Spitzenlast +35 °C nicht überschreiten. Maßgebend ist hier jeweils die Temperatur am Austritt der Wärmepumpe.

1.2 Ausführung

Anforderungen an Bohrunternehmen – Grundsätzlich ist ein Fachbüro mit besonderer Qualifikation im Bereich Hydrogeologie mit der Bauleitung zu beauftragen. Bei Bohrunternehmen, die als zertifiziertes Unternehmen nach DVGW W 120 ganzheitlich oder in den Gruppen G1 und G2 zertifiziert sind oder eine entsprechende Qualifikation für die Erstellung von Erdwärmesonden besitzen, ist die Bauleitung durch ein Fachbüro nicht erforderlich.

Insbesondere ist Folgendes sicher zu stellen:

- Das Datum des genauen Bohrbeginns ist der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde 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“ bzw. bis zum 31.12.2010 ein Bohrgeräteführer nach DIN 4021 eingesetzt werden.
- Von Bohrgeräten, Bohrgestänge und Zubehör dürfen keine wassergefährdenden Stoffe in den Untergrund und damit in das Grundwasser eingetragen werden. Für ggf. erforderliche Spülungsflüssigkeiten 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 artesische Verhältnisse angetroffen werden, sind regelmäßig geeignete Geräte und Materialien (z. B. Mischer, Zement und Bentonit) zum sicheren und dauerhaften Abdichten des Überlaufens auf der Baustelle vorzuhalten.
- Kann eine Bohrung entgegen der Planung nicht zur Sonde ausgebaut werden, ist das Bohrloch bis zur Geländeoberkante mit einer Wasser sperrenden Zement-Bentonit-Suspension dauerhaft und dicht zu verpressen.
- Die notwendigen Schweißarbeiten am Sondenkopf dürfen nur durch besonders eingewiesenes und für das entsprechende Rohrmaterial zertifiziertes Personal ausgeführt werden.

Anforderung an die Bohrung – Durch die Bohrung muß 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 Bedingungen der geologischen Verhältnisse 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.
- Größtmögliche Vertikalität und Kaliberhaltigkeit – Dadurch ergeben sich Erleichterungen für einen beschädigungsfreien, zentrierten Einbau des Sondenbündels sowie die Gewährleistung des notwendigen Abstands zu benachbarten Erdwärmesonden und dadurch thermisch effizientere Anlagen (vgl. DVGW W 115).
- Ausreichende Bohrlochtiefe – 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 Bohrlochs beim Sondereinbau bis zum Abschluss des Verpressvorgangs erforderlich; die Zusätze dürfen nicht Grundwasser gefährdend sein, hierzu ist das DVGW Merkblatt W 116 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. artesisches Grundwasser, Gaszutritte, Hohlräume, 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 zum Abdrücken des Überlaufs dicht bis zur Oberkante zu zementieren. 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.

- Abbruchkriterien der Bohrung – Dies sind z. B. große Hohlräume, die ein späteres fachgerechtes Verpressen in Frage stellen, totale Spülungsverluste, Arteser, Erreichen eines Grundwasserstauers vor der festgelegten Endtiefe, Erreichen der vorgegebenen Endtiefe.
- Fachgerechte und sichere Baustelleneinrichtung – Es sind u. a. Spülungscontainer, geeignete Mischanlage, Verpresspumpen und Messeinrichtungen zur Dichtebestimmung von Spülung und Verpresssuspension vorzuhalten und einzusetzen.
Das Anlegen von Spülteichen ist nicht zulässig.
- Probenahme – Für die Erstellung des Schichtenprofils sind mindestens alle 2 m und bei jedem Schichtwechsel Bohrgutproben zu entnehmen, fachgerecht zu verpacken und ggf. für eine Aufnahme durch das Bayerische Landesamt für Umwelt – Wirtschaftsgeologie bzw. die zuständige Kreisverwaltungsbehörde/Wasserwirtschaftsamt vom Bauherrn für mindestens sechs Monaten vorzuhalten. Im Schichtenprofil sind zudem Angaben zum Wasserstand und zu Problemzonen etc. zu machen.
- 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. in einen Abwasserkanal ist mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt bzw. dem Kläranlagenbetreiber zu klären.
Das Verfüllen des Bohrloches mit Bohrgut ist nicht zulässig.

1.3 Bohrlochausbau zur Erdwärmesonde

Sondenmaterial – Das Sondenbündel ist vorgefertigt und in einem Stück in der für das Bohrloch vorgesehenen Länge anzuliefern. 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 Materialien der Sonde müssen dicht und beständig sein. Üblicherweise werden jeweils zwei U-förmige Schleifen aus Kunststoffrohren als Sondenbündel in das Bohrloch eingebaut.

Die Einwirkung punkt- oder linienförmiger Lasten auf die Außenoberfläche von Rohren wird in den für Rohrleitungsbau relevanten Normen als zeitstandverkürzend angesehen. Deshalb wird z. B. gefordert, die Rohre so zu verlegen, dass während des Betriebs keine Punkt- oder Linienlasten auf die Rohrwand einwirken.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Widerstandsfähigkeit des Sondenmaterials gegen Belastungen im Rahmen der Erstellung und des Betriebes sind punktlastbeständige Erdwärmesonden aus vernetztem Polyethylen (PE-X) oder unvernetztem erhöht spannungsrißbeständigem Polyethylen PE 100-RC (PE-RC) 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 EN 12814-3 (80 °C; 2 % Arkopal N-100; 4 N/mm²) aus. Die Punktlastbeständigkeit und die Spannungsrißbeständigkeit korrelieren i. d. R. miteinander, so dass bei Einhaltung der o. g. Spannungsrißbeständigkeit von einer ausreichenden Punktlastbeständigkeit ausgegangen werden kann.

Soweit als Werkstoffe reine Kohlenwasserstoff-Polymere wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polybutylen (PB) verwendet werden, welche die oben genannten Anforderungen nicht erfüllen, sind die Sondenrohre im Bohrloch besonders zu schützen. Dies kann durch Verwendung von Zentriereinrichtungen (Maximalabstand 2 m) erfolgen, die eine zentrische Lage des Sondenbündels im Bohrloch gewährleisten.

Vorbereitende Arbeiten am Sondenbündel und Einbau der Sondenrohre – In regelmäßigen Abständen befestigte **Innenabstandshalter** (empfohlener Maximalabstand 2 m) vermindern den thermischen Kurzschluss zwischen Vor- und Rücklauf und verbessern die thermische Übertragungsleistung.



Abb. 3:
Innenabstandshalter
mit Aussparung für eine
zentrische Gestänge-
führung (Rehau)

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 Sondenherstellers erlöschen.

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. 4: Zentriereinrichtungen (links: Amt für Umweltschutz, Stuttgart; rechts: D. Urban)

Für die fachgerechte Verpressung (s. u.) ist bereits mit dem Einbau des Sondenbündels ein zwischen den Sondenrohren positioniertes **Verpressrohr** bis Endteufe mitzuführen, durch das die Verpressuspension eingepresst werden kann. Dieses Verpressrohr verbleibt meist im Bohrloch.

Soll ein **Verpressrohr (z. B. aus Stahl)** nach der Verpressung gezogen werden, sind Innenabstandshalter mit Aussparungen für eine **zentrische Gestängeführung** einzubauen, da sonst, beim Ziehen des Verpressrohres die Sondenrohre unmittelbar aneinander liegen können. Hierdurch ist eine verminderte Sondenleistung zu erwarten. Zugleich kann dadurch die Gefahr von Beschädigungen an den Sondenrohren beim Ziehen des Verpressrohres 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 Grundwasseraquifer 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 Zug um Zug während des Verpressvorgangs erfolgen. Insbesondere ist hierbei darauf zu achten, dass die zulässigen Kräfte auf die Sondenrohre, den Sondenfuß und die werkseitige Schweißverbindung nicht überschritten werden.

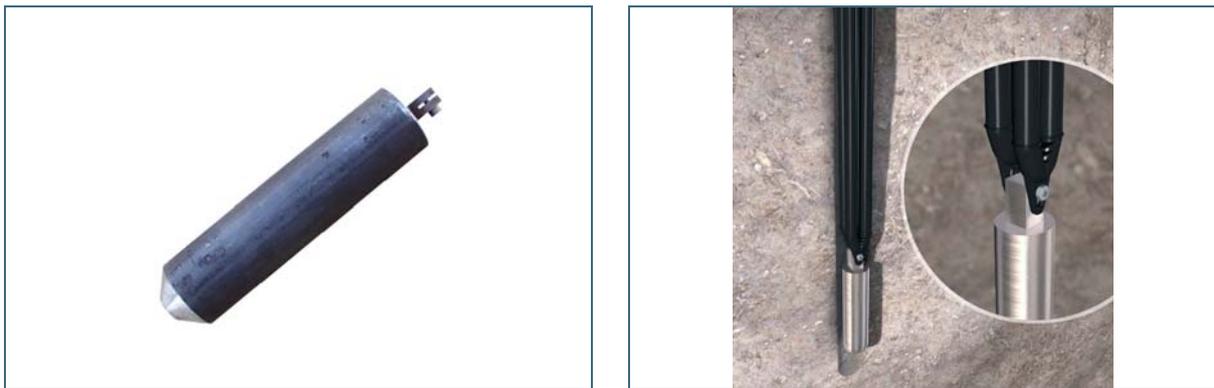


Abb. 5: Zuggewichte (links: Frank GmbH; rechts: Rehau)

Das Einschleiben 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 Einschleibens 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.

Nicht empfehlenswert ist, das Sondenbündel vor Einbau der Länge nach auszulegen und ohne Haspel einzuschleiben, da die Gefahr besteht, dass die Sondenrohre durch das Schleifen am Boden und insbesondere an der Bohrlochkante beschädigt werden.



Abb. 6:
Auf die Baustelle ange-
lieferte Sondenbündel
werden werkseitig auf-
gerollt und auf die vor-
gesehene Länge mit
Sondenfuß gefertigt.
(Frank GmbH)

Sichern der Sonde – Bereits während des Einbaus ist darauf zu achten, dass die offenen Enden der einzelnen Sondenrohre, z. B. mit Verschlusspfropfen, die mit Klebeband gesichert sind, verschlossen sind, damit keine Verschmutzungen in das Sondenrohr eindringen können. Dieser Schutz ist bis zum endgültigen Anschluss der Sonde an das Verteilersystem zu belassen, um die Sonde z. B. vor einfallenden Materialien in das Sondenrohr zu schützen.

Verpressung – Eine qualitativ hochwertige Verpressung des Bohrloches gewährleistet einen guten Wärmeübergang zwischen Erdwärmesonde und Erdreich. Zugleich schützt eine gute Verpressung vor dem Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in den Untergrund. Daher ist der Hohlraum zwischen Bohrlochwand und Sondenbündel mit einer geeigneten Suspension dicht und dauerhaft zu verpressen.

Verpressmaterial – Die Verpressung der Sonden darf nur mit im Brunnenbau üblichen, schadstofffreien, nicht wassergefährdenden Suspensionen erfolgen (z. B. Zement-Bentonit-Suspension). Handelsübliche, vorgemischte Suspensionen (**Fertigprodukte**) vereinfachen unter Beobachtung

- der Rezepturvorgaben
- der vorgeschriebenen Mischtechnik sowie
- des Einsatzes geeigneter Verpresspumpen

das Einhalten der Qualitätsanforderungen 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.

Die Dichte und der W/F Wert ist beim Anmischen der Suspension zu prüfen und entsprechend zu dokumentieren.

Vor Ort angemischte Suspensionen (**Baustellenmischungen**) bergen die Gefahr von Fehldosierungen und damit Inhomogenitäten im Verpresskörper, wodurch die gewünschten Eigenschaften nicht optimal erreicht werden können. Zudem sind Nachweise hinsichtlich der Qualitätseigenschaften (z. B. Dichtwirkung, Druckfestigkeit) im Rahmen des wasserrechtlichen Verfahrens zu erbringen, z. B. über Laborversuche. Derartige Laborversuche und die dazugehörigen Testate können z. B. bei Fertigbeton- bzw. Zementherstellern in Auftrag gegeben werden. Aus den oben genannten Gründen sollten Fertigprodukte anstelle von Baustellenmischungen verwendet werden.

Zur Verpressung sind bei Fertigmischungen und bei Baustellenmischungen Suspensionen mit einer **Dichte > 1,4 kg/l** herzustellen.

Problematisch können Suspension mit einer Dichte über 1,6 kg/l sein, da diese aufgrund ihrer Dickflüssigkeit eine vollständige Verpressung der „Zwickelräume“ im Bereich des Sondenbündels nicht sicher gewährleisten.

Grundsätzlich ist **Hochofenzement (HOZ, CEM III/B)** zu verwenden. Ggf. sind aggressive Bestandteile im Grundwasser (z. B. Sulfat, Chlorid, Kohlensäure etc.) zu berücksichtigen und diesbezüglich hoch **widerstandsfähige Zementsorten** zu verwenden. Für eine dauerhafte beständige Verpressung und damit für eine gleichbleibende Leistungsfähigkeit der Sonde ist nachzuweisen, dass sich die Eigenschaften des verwendeten Verpressmaterials im Rahmen des Betriebs nicht verschlechtern. Insbesondere ist die Frost-Tau-Wechselbeständigkeit der Verpressmaterialien nachzuweisen. Für den Nachweis sind die Herstellerangaben ausreichend, aus denen hervorgeht, dass das Verpressmaterial eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegenüber den betriebsbedingten Belastungen aufweist. Hierzu sind die durchgeführten Versuchsbedingungen anzugeben. Zudem ist die Einhaltung der Dichte und des W/F Wertes beim Anmischen der Suspension zu gewährleisten. Dies ist entsprechend zu dokumentieren. Eine Rückstellprobe der Verpresssuspension ist je Charge zu entnehmen, fachgerecht zu verschließen und zu lagern. Der Nachweis der Frostbeständigkeit ist entbehrlich, soweit Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit eingesetzt wird, oder 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 ist.

Die Verfüllung des Bohrloches mit Schüttgütern (z. B. Filterkies) oder Bohrgut genügt den o. g. Anforderungen nicht. Der Einsatz von Tonkugeln ist nur zulässig, wenn die Eignung im Einzelfall unter Berücksichtigung der Grundwasserbeschaffenheit und der Betriebsbelastungen (insbesondere Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit) nachgewiesen wird.

Thermisch verbessertes Verpressmaterial bietet den Vorteil der besseren Wärmeleitfähigkeit. So sind inzwischen 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 besseren Wirkungsgrad und somit Einsparungen von Betriebskosten kompensiert.

Beständigkeit des Verpresskörpers – Aufgrund der im Untergrund herrschenden Bedingungen und der zur Verfügung stehenden Materialien kann eine dauerhaft Frost-Tau-Wechsel beständige Abdichtung nur schwer hergestellt werden. Nur durch den maßvollen Betrieb der Erdwärmesondenanlage können die wesentlichen Eigenschaften des Verpresskörpers hinsichtlich guter thermischer Anbindung an das Gebirge sowie abdichtender Wirkung erhalten bleiben.

Frostschäden am Verpresskörper, das bedeutet meist Zerstörung des festen Ringraumverpresskörpers durch Frost-Tau-Wechsel, entstehen infolge zu tiefer Temperaturen der in der Sonde zirkulierenden Wärmeträgerflüssigkeit. Zu tiefe Temperaturen können z. B. durch falsche Auslegung der Erdwärmesondenanlage (nicht ausreichende Sondenlänge) oder im Rahmen der Bauaustrocknung von Neubauten (1. Heizperiode) eintreten. Es ist deshalb darauf zu achten, dass bei Neubauten der anfangs stark erhöhte Heizbedarf nicht allein über die Betriebszeiten der Wärmepumpe, sondern z. B. über eine zusätzliche Heizanlage, abgedeckt wird.

Verpressen des Bohrloches nach Sondeneinbau – Durch fachgerechtes Verpressen werden Luft-einschlüsse, 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 dem Einbau des Sondenbündels einschließlich 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, sind am Sondenfuß Zuggewichte anzubringen und das Sondenbündel zusätzlich oben am Bohrloch zu befestigen.
- 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 ($> 1,4 \text{ kg/l}$) 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 (Hopper plus Kreisel- oder Schneckenpumpe) ist für feststoffreiche Suspensionen nicht geeignet, soweit diese dennoch eingesetzt werden, ist eine kontinuierliche Überwachung der Dichte erforderlich.
- Unterbrechungen des Verpressvorgangs sind möglichst zu vermeiden. Zumindest ist sicherzustellen, dass insbesondere bei aufeinander folgenden Verpressabschnitten im Verpresskörper keine Luft eingepresst wird. Luft-einschlüsse vermindern u. a. die Wärmeleitfähigkeit, Dichtheit und Dauerhaftigkeit des Verpresskörpers.
- 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. Hierzu ist das regelmäßige Messen der Dichte des Verpressmaterials im Vor- und im Rücklauf erforderlich. Die Messungen sind mit Angabe der Verpressmenge und -dauer zu dokumentieren.
- Verbleibt das Verpressrohr nicht im Bohrloch, darf dieses erst nach vollständiger Verpressung des Bohrloches gezogen werden. Nur in begründeten und zu dokumentierenden Ausnahmefällen kann das Verpressrohr im Zuge der Verpressarbeiten abschnittsweise und kontrolliert gezogen werden. Dabei ist zu gewährleisten, dass sich das untere Ende des Verpressrohres ab Verpressbeginn immer mind. 10 m unter der Oberkante der Suspension im Bohrloch befindet. Analog ist bei der Verwendung eines Verpressgestänges zu verfahren.



Abb. 8:
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 Verfüllung des Bohrloches nötig ist, müssen diese Setzungen ausgeglichen werden. Dies dazu ist z. B. der obere Teil des Bohrlochs nachträglich vollständig bis zur Geländeoberkante mit dem gleichen Verpressmaterial aufzufüllen.
- Die Soll- und Ist-Menge der Suspension ist zu erfassen. Grundsätzlich ist die Ist-Menge immer größer als die berechnete Soll-Menge. Übersteigt das Verpressvolumen allerdings das Zweifache des Bohrlochvolumens, ist der Verpressvorgang zu unterbrechen und unverzüglich die Kreisverwaltungsbehörde bzw. das Wasserwirtschaftsamt zu informieren um das weitere Vorgehen abzustimmen. Die Erfassung des Verpressdrucks gibt Aufschlüsse über Unregelmäßigkeiten beim Verpressvorgang.
- Pro Erdwärmesonde ist vom Bohrunternehmer eine Rückstellprobe der Verpresssuspension zu nehmen und mindestens bis sechs Monate nach Herstellung der Sonde fachgerecht (u. a. unter Wasser gelagert, geschützt vor Austrocknung und vor klimatischen Einflüssen) beim Bauherrn aufzubewahren.

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 einer kleinkalibrigen Messsonde, die in die Sondenrohre ein- und ausgespült wird, möglich. Durch den wesentlich aufwändigeren Thermal Response Test sind darüber hinaus noch weitergehende Kenntnisse über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes zu erlangen.

Druckprobe und Durchflusstest der fertigen Erdwärmesonde – Unmittelbar nach dem Verpressen, d. h. vor dem Abbinden des Zements des Verpresskörpers, sind die Sondenkreisläufe auf Dichtigkeit zu prüfen. Angaben über notwendige Prüfdrücke und –zeiten sind entsprechend dem Stand der Technik durchzuführen (s. VDI 4640, Blatt 2). Ebenso sind die Sondenkreisläufe auf ihre Durchflusswiderstände hin zu prüfen. Hohe Widerstände können bei sehr großen Einbautiefen u. U. auf Quetschungen der Rohre infolge der Verpressung zurückgeführt werden und können die Funktionsfähigkeit der Erdwärmesonde erheblich verringern.

1.4 Dokumentation nach Abschluss der Bohrarbeiten

Grundlage zur fachgerechten Herstellung von Erdwärmesonden sind Sorgfalt und Sachverstand bei 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:

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/Wasserwirtschaftsamt abzustimmen und zu dokumentieren.

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. Bohrprofil in Anlage 4).

Ausbauzeichnung – 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.

Druck- und Durchflussprüfung – Die Druck- und Durchflussprüfung der Sondenkreisläufe geben Auskunft über Dichtheit sowie Funktionsfähigkeit der Sonde.

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.

Verpressmaterial und -arbeiten – Die Dokumentation und Protokollierung des Verpressmaterials und der Verpressarbeiten umfassen: Lieferschein, technisches Datenblatt, ggf. Unbedenklichkeitsbescheinigung des Verpressmittelherstellers, verwendete Zusatzstoffe, Mischungsverhältnis, Wasser-Feststoffverhältnis, Suspensionskontrolle mit Dichteprüfung im Vor- und Rücklauf, Soll-Ist-Vergleich der verbrauchten Suspensionsmenge, Verpressdruckprotokoll, eingesetzte Pumpe und verwendetes Verpressrohr/-gestänge (Angaben u. a. zu Art, Länge, Anzahl), sowie genommene Rückstellproben der Verpresssuspension.

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 (Bildhintergrund) eindeutig herzustellen ist.

Die gesamte Dokumentation ist mit Abschluss der Arbeiten **an den Bauherrn zu übergeben** und dort aufzubewahren.

1.5 Anschlussleitungen

Alle Anschlussleitungen sind **unterhalb der Frosttiefe** 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 Sicherheit vor Frostschäden zu dämmen.

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

Horizontale **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 jedes einzelne Sondenrohr eine separate Absperrvorrichtung vorgesehen werden, um einen Totalausfall des Verteilerkreises im Fall einer Leckage zu vermeiden. Das in Reihe Schalten mehrerer Sonden kann nicht empfohlen werden.

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 Leitungs Herstellers zu beachten, die u. a. vom Rohraußendurchmesser abhängen.

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

Alle **erdverlegten Verbindungen**, auch die Anbindung an die Verteilleitungen, sind als unlösbare, korrosionsbeständige und dauerhaft dichte Verbindungen auszuführen. Verbindungen aus Metall müssen zusätzlich vor Korrosion geschützt werden (z. B. durch Überschumpfen mit einem Schrumpfschlauch mit Kleber). Für die Schweißverfahren sind die Richtlinien des Deutschen Verbands für Schweißtechnik, Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen verbindlich zu beachten.

1.6 Abschluss der Arbeiten

Unterlagen für die Kreisverwaltungsbehörde/Wasserwirtschaftsamt – Auf Grundlage der WPBV (Verordnung über Pläne in wasserrechtlichen Verfahren) ist das Fertigstellen der Sonden der Kreisverwaltungsbehörde spätestens vier Wochen nach Abschluss der Arbeiten mit folgenden Unterlagen mitzuteilen:

- Lageplan mit Gauß-Krüger-Koordinaten (mind. Metergenauigkeit) und rechtwinklige Einmessung zu Festpunkten (z. B. Haus, Garage usw.)
- Darstellung der Leitungsführung
- 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)

Unterlagen für das Bayerische Landesamt für Umwelt

Dem

Bayerischen Landesamt für Umwelt
- Geologischer Dienst -
Postfach
86177 Augsburg

sind auf Grundlage des Lagerstättengesetzes (i. V. mit Artikel 189 EGStGB) in angemessener Zeit nach Abschluss der Bauarbeiten (ca. 4 Wochen) folgende Unterlagen zu übermitteln.

- Lageplan mit Gauß-Krüger-Koordinaten (mind. Metergenauigkeit) und rechtwinklige Einmessung zu Festpunkten (z. B. Haus, Garage usw.)
- 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)
- Ggf. Ergebnisse von geophysikalischen Untersuchungen (z. B. Thermal Response Test)

2 Betrieb der Erdwärmesonde

Stand der Technik beachten – Die Nutzung der Erdwärme mit Erdwärmesonden hat entsprechend den technischen Vorschriften und Regeln insbesondere in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 und 2 und die DIN 8901 zu erfolgen.

Grundlagen der Dimensionierung beachten – Auch bei ausreichender Dimensionierung und fachgerechter Installation bzw. Herstellung der Erdwärmesondenanlage kann ein ungünstiger Betrieb der Anlage zu Problemen führen, da eine Anlage auf einen bestimmten Heiz- und Warmwasserbedarf dimensioniert ist. So kann z. B. erhöhter Heiz- und Warmwasserbedarf infolge Nutzungs- bzw. Bedarfsänderungen (z. B. Gebäudeerweiterung) zur Überlastung bis hin zu Schäden an der Anlage führen. Ein erhöhter Energiebedarf kann durch die vorhandene Erdwärmesonde (Wärmequelle) auf Dauer nicht gedeckt werden. Die dadurch sinkenden Temperaturen in der Wärmequelle führen zu einem steigenden Stromverbrauch und damit zu einem deutlichen Rückgang der Jahresarbeitszahl der installierten Wärmepumpenanlage.

In Betriebsnahme – Mit dem Betrieb der Erdwärmesonde soll erst begonnen werden, wenn die Verpresssuspension ausgehärtet ist (i. d. R. 28 Tage).

Insbesondere in der 1. Heizperiode (Bauaustrocknung) ist darauf zu achten, dass die Erdwärmesondenanlage nicht überlastet wird. Der zusätzliche Wärmebedarf ist ggf. über Hilfs-Heizgeräte abzudecken.

Änderungen anzeigen – Änderungen an der Erdwärmesondenanlage sind vom Betreiber der Kreisverwaltungsbehörde gleichzeitig vorab anzuzeigen.

Stromverbrauch – Die Dokumentation des (jährlichen) Stromverbrauchs durch den Betreiber lässt Rückschlüsse auf die Entwicklung der Arbeitszahl der Erdwärmesondenanlage zu, wodurch u. U. auch Schäden frühzeitig erkannt werden können.

Leckagen – Für die Erkennung von Leckagen bzw. von Druckabfall im Kreislauf der Wärmeträgerflüssigkeit muss die Anlage mit einer selbsttätigen Leckagenüberwachungseinrichtung (baumustergeprüfter Druckwächter) so gesichert sein, dass im Falle einer Leckage die Umwälzpumpe für den Solekreislauf sofort abschaltet und ein Störungssignal abgegeben wird. Neben diesen automatischen Sicherheitseinrichtungen sollen die obertätig zugänglichen Teile der Erdwärmesondenanlage vom Betreiber regelmäßig auf Leckagen geprüft werden. Bei Austritt von Wärmeträgerflüssigkeiten ist die Anlage sofort außer Betrieb zu nehmen und die Schadensursache von einem Fachhandwerker zu klären. Bei obertätigen Schadensfällen sowie bei Schäden im Bereich der horizontalen Vor- und Rücklaufleitungen ist i. d. R. eine Reparatur möglich, bei Leckagen im Sondenbereich ist eine Stilllegung (s. u.) nötig. Falls Wärmeträgerflüssigkeit ins Erdreich eingedrungen ist, muss umgehend die Kreisverwaltungsbehörde bzw. das Wasserwirtschaftsamt informiert und das weitere Vorgehen abgestimmt werden.

Stilllegung der Erdwärmesonde – Bei Außerbetriebnahme der Erdwärmesonde ist die Wärmeträgerflüssigkeit mit Wasser in Trinkwasserqualität auszuspülen. Die ausgespülte Wärmeleitfähigkeit ist fachgerecht zu entsorgen. Entspricht das Sondenmaterial den Anforderungen gemäß VDI 4640, Blatt 1, kann die Sonde im Untergrund verbleiben, wenn sie vollständig mit dauerhaft abdichtendem und Grundwasser unschädlichem Material verpresst wird.

Die Stilllegung ist der Kreisverwaltungsbehörde vorab anzuzeigen.

3 Fazit

Das Ziel bei der Herstellung von Erdwärmesondenanlagen sollte somit sein:

- Augenmaß statt kurzfristigem Aktionismus
- Langlebige und dauerhaft wirtschaftliche Anlagen
- Nachhaltigkeit und Schutz des Grundwassers auch für künftige Generationen

Durch geothermische Nutzungen sind technische Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Senkung der CO₂-Emissionen gegeben. Eine Gefährdung des Grundwassers – unseres Lebensmittel Nummer 1 – ist im Zuge der thermischen Nutzung jedoch auszuschließen. Nur die kompetente Planung und Ausführung garantiert Systeme, die über lange Zeiträume funktionstüchtig und in ihrer Anschaffung und im Betrieb wirtschaftlich und umweltfreundlich sind.

Bei Einhaltung der wasserwirtschaftlichen Zielvorgaben und bei fachgerechten Bau und Betrieb dieser modernen und umweltfreundlichen Technologien können die vorhandenen Gefährdungsrisiken in Abhängigkeit vom Standort so minimiert werden, dass eine Beeinträchtigung des Grundwassers nicht mehr unmittelbar zu besorgen ist.

Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden – Worauf kommt´s an?

Dr. Jörg Dietrich, HeidelbergCement, Baustoffe für Geotechnik GmbH & Co. KG

■ Oberflächennahe Geothermie

The diagram illustrates a geothermal heat pump system. A house is shown with a borehole drilled into the ground. The borehole contains a U-tube with two pipes: the top pipe is labeled 'Rücklauf' (return) and the bottom pipe is labeled 'Vortlauf' (supply). The ground is divided into two groundwater layers: '1. Grundwasserleiter' (upper) and '2. Grundwasserleiter' (lower). The space between the borehole casing and the U-tube is filled with 'Verfüllbaustoff' (grout). A temperature of '10 °C' is indicated in the upper groundwater layer.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 2 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt´s an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Anforderungen an den Verfüllbaustoff

Ziele der Anwendung:

- Abdichtung des Bohrloches nach oben, um den Eintrag von Schadstoffen zu verhindern.
- Abdichtung von durchteuften Grundwasserleitern
➡ Vermeidung eines hydraulischen Kurzschlusses
- Optimaler Wärmeaustausch zwischen dem umgebenden Untergrund und dem in der Sonde zirkulierenden Fluid

Fall Heizen:

Wärmefluss vom umgebenden Untergrund ➡ Sondenfluid

Fall Kühlen:

Wärmefluss vom Sondenfluid ➡ Untergrund

Anforderungen an den Verfüllbaustoff

- Gutes Fließverhalten und Sedimentationsstabilität der frisch angemischten Baustoffsuspension

➡ Fehlstellenfreie Verfüllung des Ringraumes

➡ Gute thermische Kopplung zwischen Erdreich, Verfüllbaustoff und dem Sondenrohr

- Zielsichere Festigkeitsentwicklung

➡ Kraftschlüssige Stabilisierung des Ringraumes

- Geringe Durchlässigkeit des erhärteten Baustoffkörpers

➡ Erosionssichere Abdichtung des Ringraumes

- Ausreichende Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel

- Einfache und sichere Handhabung

Rheologie und Sedimentationsstabilität



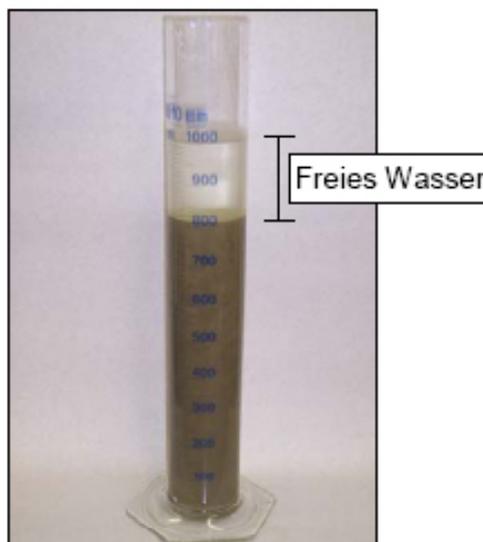
➔ Zur Aussteuerung der Fließeigenschaften und zur Stabilisierung der Suspension enthält die Baustoffrezeptur einen auf die Anwendung abgestimmten Tonmineralanteil.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 6 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Rheologie und Sedimentationsstabilität



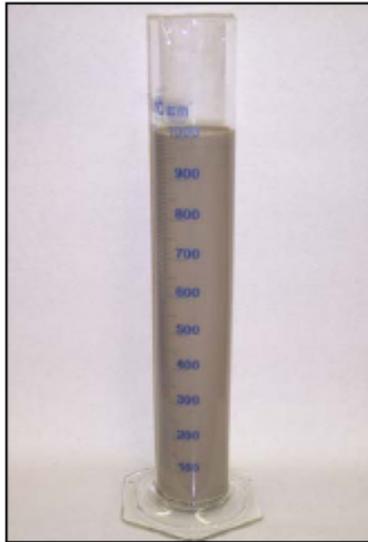
Zementsuspension (W/F 0,8) nach 1 Stunde Standzeit

Baustoffe für Geotechnik

Slide 6 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Rheologie und Sedimentationsstabilität



Baustoffsuspension (W/F 0,8) nach 24 Stunden Standzeit

Baustoffe für Geotechnik

Slide 7 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Rheologie und Sedimentationsstabilität

- **Viskosität / Fließgrenze und Suspensionsdichte**

- **Sicherstellung einer fehlerstellenfreien Verfüllung**
- **Übertragung des hydrostatischen Suspensionsdruckes auf die Bohrlochwand**
- **Minimierung von Suspensionsverlusten**
- **Vollständige Verdrängung der Bohrspülung**

- **Suspensionsstabilität**

- **Vermeidung einer inhomogenen Festigkeitsentwicklung oder eines Füllsäulenabrisses**

Baustoffe für Geotechnik

Slide 8 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Rheologie und Sedimentationsstabilität



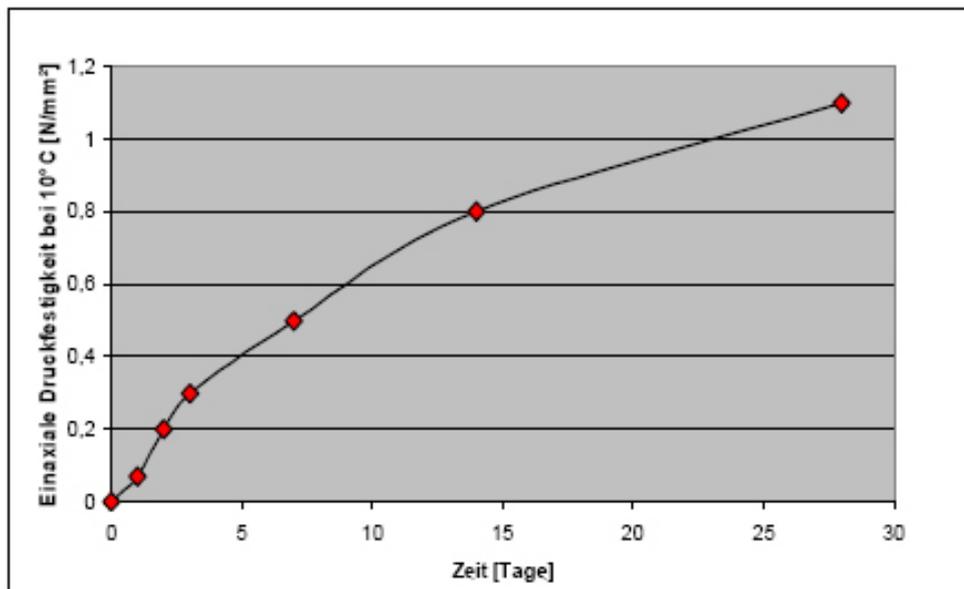
Füllsäulenabriss aufgrund mangelhafter Suspensionsstabilität

Baustoffe für Geotechnik

Slide 9 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Festigkeitsentwicklung



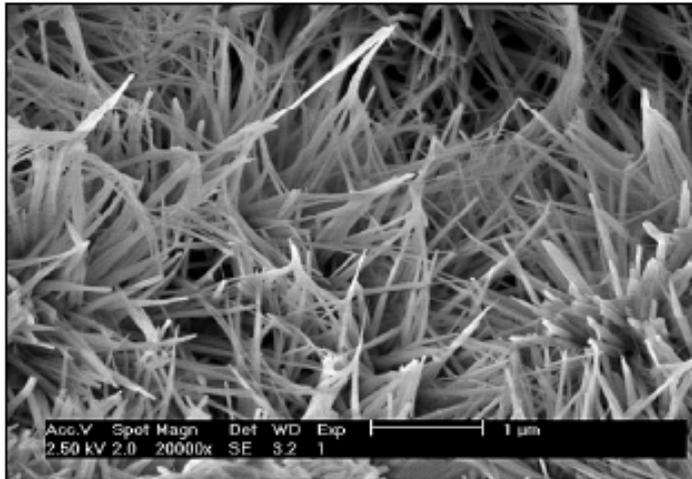
➔ 1 N/mm² entspricht in etwa der Festigkeit eines gut verdichteten Lehmbodens.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 10 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Hydratationswärme



Quelle: Stark et al. 2001

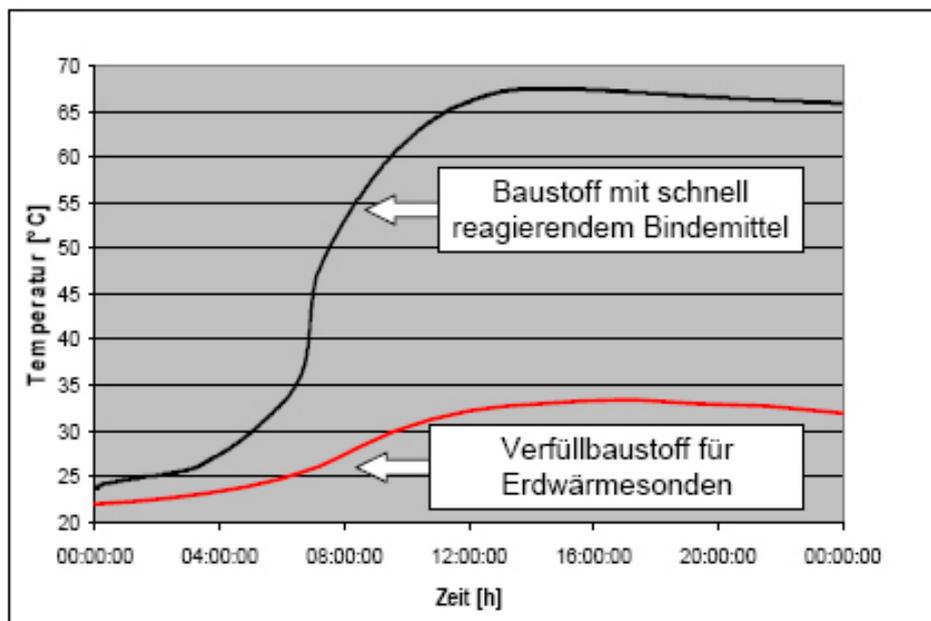
- Auf der Oberfläche der Bindemittelpartikel bilden sich Kristalle z.B. nadelförmige Calciumsilicathydrate (CSH-Phasen).
- Überbrücken diese Kristalle die Partikelzwischenräume, kommt es zum Erstarren und anschließenden Erhärten der Baustoffsuspension.
- Die Hydratationsreaktionen sind exotherm.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 11 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Hydratationswärme



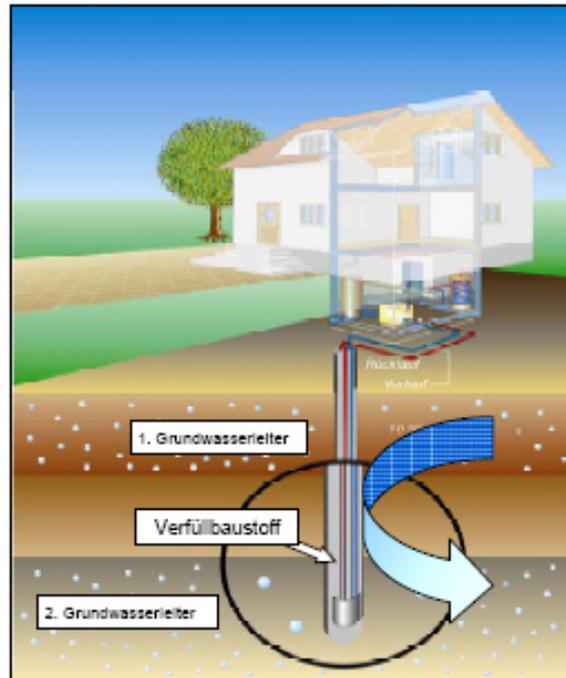
Versuchsdurchführung unter adiabatischen Bedingungen

Baustoffe für Geotechnik

Slide 12 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Hydrogeologische Situation

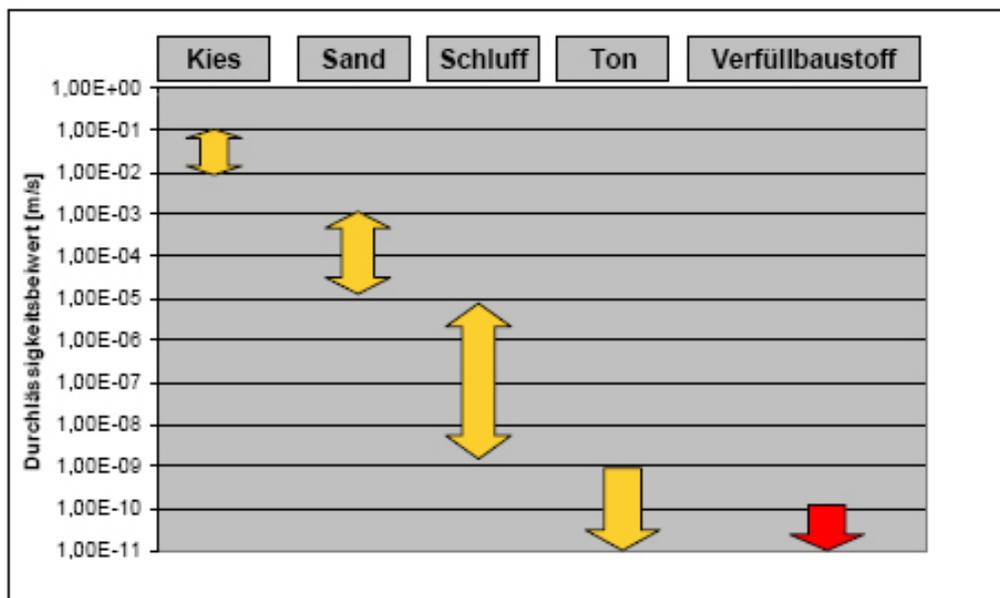


Baustoffe für Geotechnik

Slide 13 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Durchlässigkeitsbeiwerte

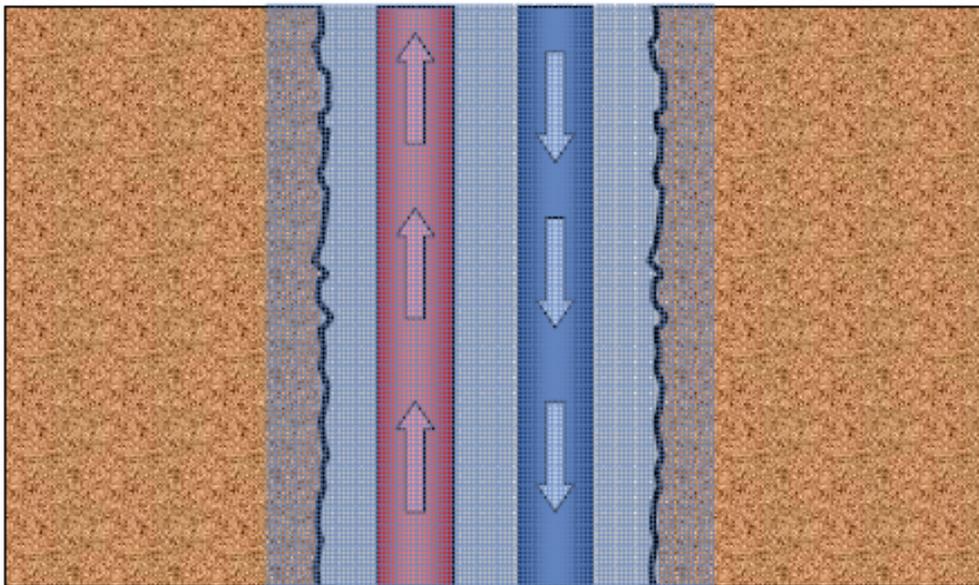


Baustoffe für Geotechnik

Slide 14 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand



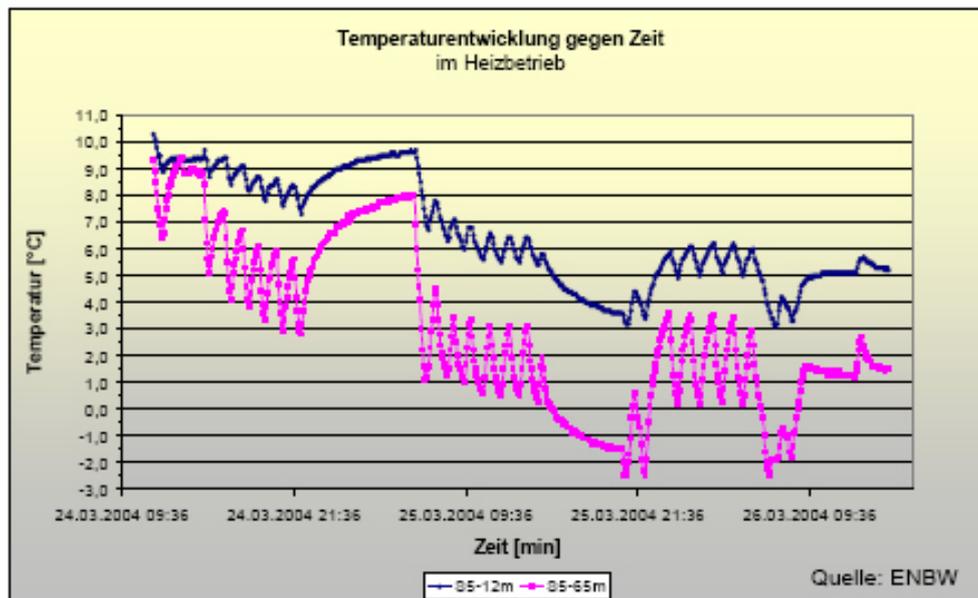
Frost-Tau-Belastung des Verfüllbaustoffes durch übermäßigen Wärmeentzug

Baustoffe für Geotechnik

Slide 15 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand



Feldversuche: Temperaturganglinie einer Erdwärmesonde

Baustoffe für Geotechnik

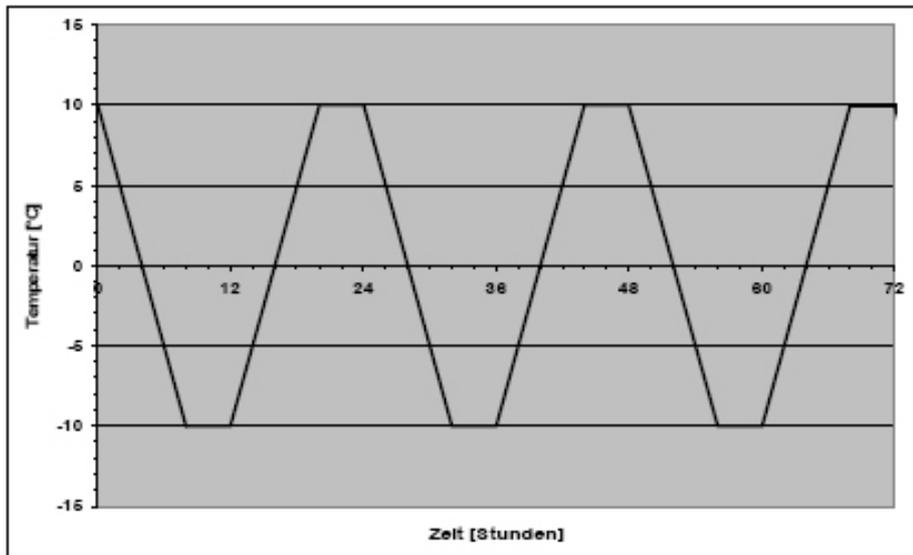
Slide 16 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand

Frost-Tau-Versuche im Rahmen einer Eignungsprüfung von Verfüllbaustoffen für Erdwärmesonden

Auftraggeber: Oberösterreichische Landesregierung



Baustoffe für Geotechnik

Slide 17 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand

Frost-Tau-Versuche im Rahmen einer Eignungsprüfung von Verfüllbaustoffen für Erdwärmesonden

Auftraggeber: Oberösterreichische Landesregierung

Versuchsrandbedingungen:

- Prüfung in Anlehnung an ÖNORM B 3303
- Prüfkörper: Zylinder (80 mm Höhe, 80 mm Ø, 28 Tage alt)
- Prüfkörper sind während des Frost-Tau-Versuches vor Verdunstung geschützt.
- Keine Wasserlagerung
- Prüfkriterium: Nach 10 Frost-Tau-Wechseln ist ein Abfall der einaxialen Druckfestigkeit um maximal 35 % zulässig.

Baustoffe für Geotechnik

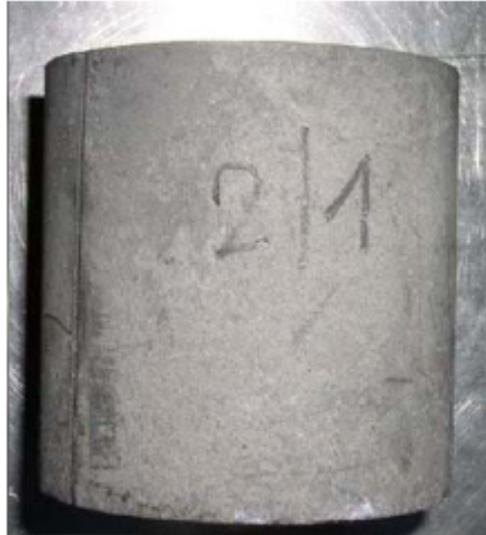
Slide 18 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand

Frost-Tau-Versuche im Rahmen einer Eignungsprüfung von Verfüllbaustoffen für Erdwärmesonden

Auftraggeber: Oberösterreichische Landesregierung



Intakter Prüfkörper nach
10 Frost-Tau-Wechseln

Baustoffe für Geotechnik

Slide 10 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand

Frost-Tau-Versuche HC Geotechnik

Versuchsrandbedingungen:

- Prüfkörper: entformte Baustoffzylinder
(100 mm Höhe, 100 mm Ø, 28 Tage alt)
- Temperaturprofil: 12 h abkühlen von +10°C auf -10°C
24 h -10°C
12 h erwärmen von -10°C auf +10°C
24 h +10°C
- Prüfkörper sind während des Frost-Tau-Versuches vor
Verdunstung geschützt.
- Keine Wasserlagerung
- Prüfkriterium: k-Wert-Bestimmung nach 7 Frost-Tau-Wechseln

Baustoffe für Geotechnik

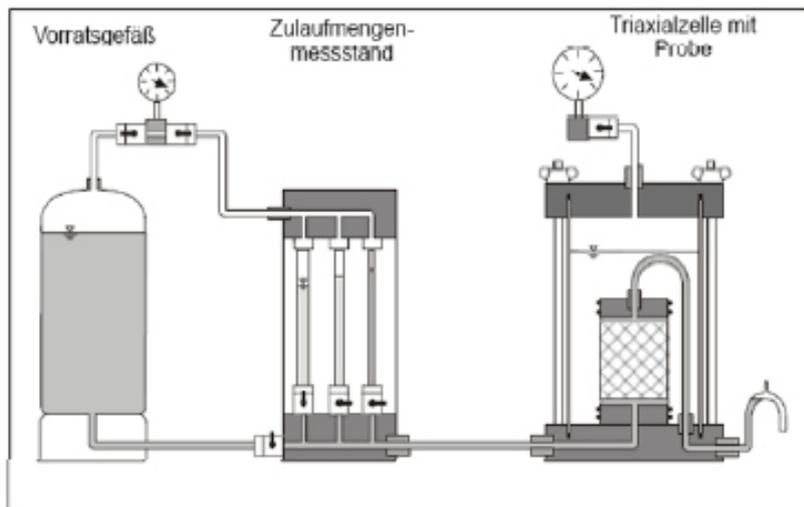
Slide 20 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Frost-Tau-Widerstand

Frost-Tau-Versuche HC Geotechnik

Bestimmung des k-Wertes mittels Triaxialzelle:



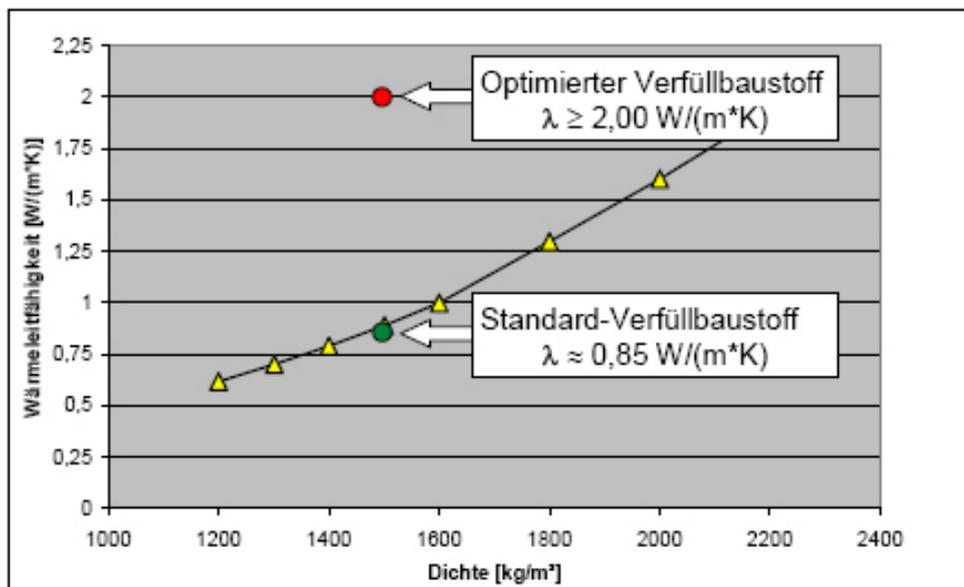
Quelle:
Horst 1997

Baustoffe für Geotechnik

Slide 21 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Wärmeleitfähigkeit



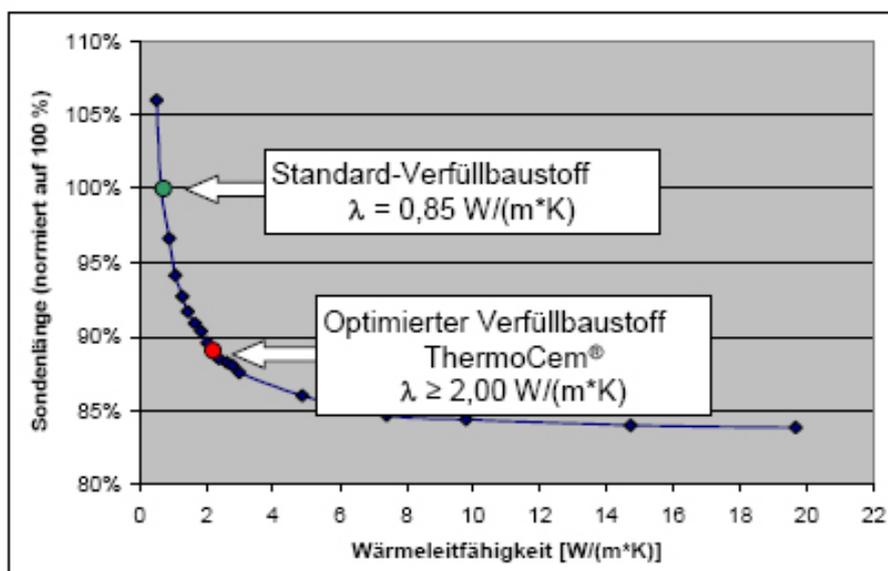
→ Optimierung der thermischen Eigenschaften durch
hochwärmeleitfähige Additive

Baustoffe für Geotechnik

Slide 20 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Vorteile thermisch optimierter Verfüllbaustoffe



Quelle:
ENBW

Einfluss der Wärmeleitfähigkeit des Verfüllbaustoffes auf die notwendige Sondenlänge

Baustoffe für Geotechnik

Slide 21 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Vorteile thermisch optimierter Verfüllbaustoffe

Die hohe Wärmeleitfähigkeit thermisch optimierter Verfüllbaustoffe (2 W/(m·K)) führt im Vergleich zu Standard-Verfüllbaustoffen zu einer Steigerung der Entzugsleistung (W/m).

Zunahme der Entzugsleistung:

- Einzelsonde: 15 bis 22 %
- Sondenfeld: 10 bis 15 %

➔ Die Sondenlänge kann um diese Anteile verringert werden.

Bei gleich bleibender Sondenlänge erreicht das Sondenfluid eine höhere Temperatur. Pro 1 °K Temperaturerhöhung steigt die Leistung der Wärmepumpe um etwa 5 %.

Temperaturzunahme:

- Einzelsonde: 1,5 bis 1,75 °K ➔ 7,5 bis 8,75 % Leistungssteigerung
- Sondenfeld: 1,0 bis 1,2 °K ➔ 5,0 bis 6,0 % Leistungssteigerung

Baustoffe für Geotechnik

Slide 22 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Einfache und sichere Handhabung

Einfache Handhabung:

- Werksfertige Verfüllbaustoffe müssen auf der Baustelle nur noch mit Wasser angemischt werden.
- Die so hergestellten Suspensionen sind sofort gebrauchsfertig.

Sichere Handhabung:

- Um das an den Verfüllbaustoff gestellte Anforderungsprofil sicher zu erfüllen, ist eine gleich bleibende Produktqualität Voraussetzung.

➔ Sicherstellung der Produktqualität durch werksseitiges Qualitätsmanagement.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 23 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Qualitätsmanagement

Die Zusammensetzung der in den Lagerstätten abgebauten Rohstoffe unterliegt natürlichen Schwankungen.

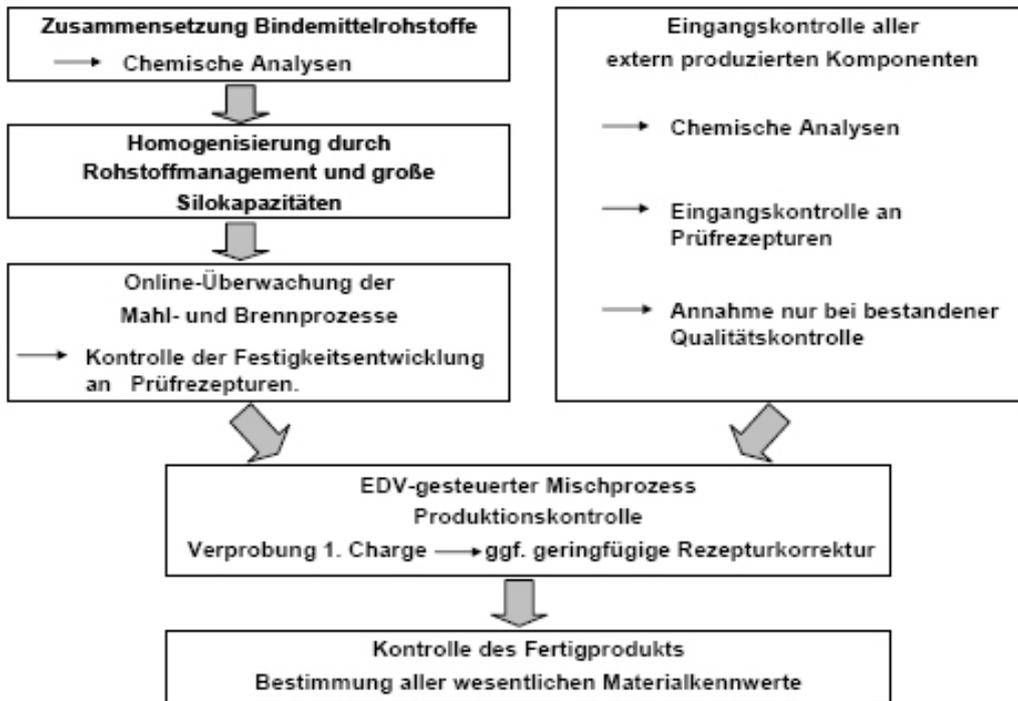


Baustoffe für Geotechnik

Slide 24 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Qualitätsmanagement



Baustoffe für Geotechnik

Slide 25 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Qualitätsmanagement



Durch den Einsatz großer Silokapazitäten wird eine homogene Zusammensetzung der verwendeten Produktkomponenten erreicht.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 25 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Baustelleneinrichtung und Verfüllung

- Das Mischaggregat sollte eine klumpenfreie Suspension erzeugen.

Die Angaben des Technischen Merkblattes werden nur bei

- Einhaltung des vorgegebenen Wasser/Feststoff-Wertes (W/F-Wert) erreicht.
- ➔ Während der Verfüllmaßnahme regelmäßige Bestimmung der Suspensionsdichte.
- ➔ Stimmt die Suspensionsdichte, dann stimmt der W/F-Wert!

Um eine vollständige Verdrängung der im Bohrloch befindlichen

- Spülung sicher zu stellen, muss die Verfüllung im Kontraktorverfahren - von unten nach oben - durchgeführt werden.

Die Verfüllmaßnahme ist dann beendet, wenn die Suspensionsdichte

- der austretenden Suspension der Dichte der Nullmischung entspricht.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 26 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Baustelleneinrichtung und Verfüllung

Bestimmung der Suspensionsdichte:



Spülungswaage



Waage + Litergefäß



Aräometer

Baustoffe für Geotechnik

Slide 27 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an? , Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Baustelleneinrichtung und Verfüllung

- Das Mischaggregat sollte eine klumpenfreie Suspension erzeugen.

Die Angaben des Technischen Merkblattes werden nur bei

- Einhaltung des vorgegebenen Wasser/Feststoff-Wertes (W/F-Wert) erreicht.
 - ➔ Während der Verfüllmaßnahme regelmäßige Bestimmung der Suspensionsdichte.
 - ➔ Stimmt die Suspensionsdichte, dann stimmt der W/F-Wert!

Um eine vollständige Verdrängung der im Bohrloch befindlichen

- Spülung sicher zu stellen, muss die Verfüllung im Kontraktorverfahren - von unten nach oben - durchgeführt werden.

Die Verfüllmaßnahme ist dann beendet, wenn die Suspensionsdichte

- der austretenden Suspension der Dichte der Nullmischung entspricht.

Baustoffe für Geotechnik

Slide 28 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT

Zusammenfassung

Anforderungsprofil an Verfüllbaustoffe für Erdwärmesonden :

- Hohe Wärmeleitfähigkeit (≥ 2 (W/m-K))
- Geeignete rheologische Eigenschaften (Marshzeit 50-100 s)
- Hohe Suspensionsstabilität (Wasserabsetzen 24h < 2 Vol. %)
- Zielsichere Festigkeitsentwicklung (einaxiale Druckfestigkeit nach 28d ≥ 1 N/mm²)
- Niedrige Hydratationswärme
- Geringe Durchlässigkeit (k-Wert $\leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s)
- Ausreichende Widerstandsfähigkeit bei Frost-Tau-Wechseln
- Einfache und sichere Handhabung
- Wasserhygienisch unbedenklich
- Hoher chemische Widerstand gegenüber baustoffaggressiven Grundwässern

Baustoffe für Geotechnik

Slide 31 - 11.03.2009
Eigenschaften von Verpressmaterialien bei Erdwärmesonden –
Worauf kommt's an?, Dr. Jörg Dietrich

HEIDELBERGCEMENT