



SACHSEN-ANHALT

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, WISSENSCHAFT UND DIGITALISIERUNG
MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND ENERGIE

Leitlinien Qualitätssicherung Bohrungen/ Erdwärmesonden

Anlage 1

**Erläuterungen zu den Leitlinien Qualitätssicherung
Bohrungen/ Erdwärmesonden**

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
0. Einzureichende Unterlagen	2
1. Bohrunternehmen, Versicherungsschutz und Bohrpersonal	3
Zertifizierung und gleichwertige Anerkennung.....	3
Versicherungsschutz.....	3
Qualifikation des Bohrpersonals und der Geräteführer.....	4
2. Bohrverfahren, Ausrüstung, geologische Ansprache und Dokumentation.....	5
Bohrverfahren	5
Bohrlochdurchmesser	6
Ausrüstung auf der Bohrstelle und auf dem Bauhof	6
Dokumentation des Bohrvorgangs, Ansprache der Geologie und des Grundwassers	7
3. Baustoffe, Mischtechnik und Abdichtung	8
Anforderungen an Baustoffe	8
Anmischen der Baustoffsuspension	11
Einbau, Abdichtung und Dokumentation	11
Abdichten von Grundwasserstockwerken.....	13
Abdichtung bei Gasaustritten	14
Verfüllung von größeren Klüften und von Hohlräumen.....	14
Vorgehen bei Suspensionsverlusten.....	14
4. Bauüberwachung und geophysikalische Messungen.....	15
Bohrlochgeophysikalische Messungen	15
Bauüberwachung	17
5. Stilllegung einer EWS.....	19
Feststellungen und Handlungsbedarf.....	19
Stilllegung einer EWS	20

Einleitung

Die Leitlinien gelten für alle Erdaufschlüsse ab 10 m Tiefe, darunter fallen u.a. Brunnenbohrungen, Erkundungsbohrungen für die Lagerstättengeologie und Baugrundbohrungen. Ein Großteil der Bohrungen wird derzeit im Zusammenhang mit der Errichtung von Erdwärmesonden geteuft, deshalb werden vorwiegend Anforderungen an Erdwärmesonden, und hier insbesondere an Sole-Wasser-Erdwärmesonden, formuliert.

Die nachfolgenden Ausführungen erläutern diese Leitlinien ausführlich. Interessierte Bauherren finden Anregungen, worauf sie im Vorfeld der Auftragsvergabe und bei der Herstellung von Erdwärmesonden achten sollten. Es empfiehlt sich, ähnlich wie beim Hausbau, einen externen und unabhängigen Sachverständigen mit der „Bauüberwachung“ zu beauftragen. Dies könnte beispielsweise durch einen Fachplaner wahrgenommen werden, der die EWS-Anlage dimensioniert und das wasserrechtliche Verfahren begleitet hat oder durch einen unabhängigen mit der örtlichen Geologie vertrauten Geologen oder einem Gutachter mit gleichwertiger Qualifikation. Dem Bauherren obliegt letztlich die Pflicht zur Überwachung und Kontrolle der Baumaßnahmen. Sie dienen somit neben dem Schutz des Grundwassers auch dem Schutz des Bauherrn und Dritter.

Die aufgeführten technischen Anforderungen an Bauausführung, Dokumentation und Betrieb von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren sind Stand der Technik und nach Bergrecht entsprechend einzuhalten. Um Risiken von Planungs- und Ausführungsfehler zu vermeiden sollten die Anforderungen auch von den Fachfirmen bei sämtlichen Bohr- und Ausbauarbeiten, die nicht dem Bergrecht unterliegen, eingehalten werden.

Weitere Ausführungen zur Oberflächennahen Geothermie können im Geothermieportal des Landes Sachsen-Anhalt Anhalt (<http://www.geodaten.lagb.sachsen-anhalt.de/lagb/>) und in der „Informationsbroschüre zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden“ nachgelesen werden.

0. Einzureichende Unterlagen

Nach § 49 WHG des Wasserhaushaltgesetzes (WHG) müssen Erdaufschlüsse, die so tief in den Boden eindringen, dass sie sich unmittelbar oder mittelbar auf die Bewegung, die Höhe oder die Beschaffenheit des Grundwassers auswirken können, der zuständigen unteren Wasserbehörde (UWB) des jeweiligen Landkreises/ der jeweiligen kreisfreien Stadt mindestens einen Monat vor Beginn der Arbeiten angezeigt werden.

Es wird daraufhin geprüft, ob es sich bei dem geplanten Vorhaben um eine Benutzung eines Gewässers im Sinne des § 9 Abs. 1 WHG handelt, welche ggf. einer wasserrechtlichen Erlaubnis gemäß § 8 WHG bedarf, oder ob die Benutzung als erlaubnisfrei zu bewerten ist.

Unabhängig davon kann auch ein wasserrechtlicher Benutzungstatbestand nach § 9 Abs. 2 WHG vorliegen, wenn es sich um Maßnahmen handelt, **die geeignet sind**, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen. Dabei ist es unerheblich, ob die nachteilige Veränderung tatsächlich eintritt.

Anlagen, die unter die Verordnung der VAWS LSA (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen des Landes Sachsen-Anhalt) fallen, sind 6 Wochen vor Baubeginn anzuzeigen. Die zuständige untere Wasserbehörde wird dann anhand der Bauart

und des Standortes entscheiden, ob eine behördliche Erlaubnis (§ 8 WHG) erforderlich ist.

Für jede Bohrung ist mindestens 14 Tage vor Bohrbeginn die Anzeige für die Erfüllung des Lagerstättengesetzes § 4 und des Bergrechts §§ 50 bis 62 und §§ 65 bis 74 (bei Bohrungen > 100 m) an das Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB) zu richten.

Bestandteil der einzureichenden Unterlagen müssen neben Angaben zur Qualifikation des Bohrunternehmens, zu den Bohrungen und den einzusetzenden Materialien auch Aussagen zu den zu erwartenden geologischen Bedingungen sein. Bei einfachen Bedingungen genügt ein geologisches Vorprofil, bei Untergrundverhältnissen mit erhöhten Anforderungen muss der unteren Wasserbehörde ein hydrogeologisches Gutachten (Anl. 5) vorgelegt werden. Gebiete mit erhöhten Anforderungen an die Bauausführung stellen Bereiche dar, für die aufgrund der geologischen/ hydrogeologischen Situation ein erhöhtes Risiko in der Bauausführung bzw. in der Langzeitsicherheit der Bohrungen/ Erdwärmesonden besteht. Die berücksichtigten geologischen/ hydrogeologischen Randbedingungen sind in Anlage 2 aufgeführt und werden flächenmäßig im Geothermieportal nach der im LAGB vorhandenen Datenlage dargestellt.

Für die Erstellung von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden (EWS) sind die technischen Regelwerke, insbesondere die DIN-Normen und die Arbeitsblätter des DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.) u.a. zu beachten.

Spätestens vier Wochen nach Abschluss der Arbeiten sind den UWB/ LAGB die Dokumentationen zu den Bohrungen/ Erdwärmesonden zu übergeben.

1. Bohrunternehmen, Versicherungsschutz und Bohrpersonal

Zertifizierung und gleichwertige Anerkennung

Es sollten Bohrunternehmen beauftragt werden, die als Fachfirmen nach dem Arbeitsblatt DVGW W 120-2 zertifiziert sind oder nachweisen können, dass sie die im DVGW W 120-2 festgelegten Anforderungen gleichwertig erfüllen. In Sachsen-Anhalt gilt der ausbildungsberechtigte Brunnenbauer-Meister als gleichberechtigt.

Seit Juli 2013 gibt es das neue Arbeitsblatt DVGW W 120-2 (A) – Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik und oberflächennahe Geothermie (Erdwärmesonden). Es werden neue Anforderungen an die Qualitätssicherung und an die Qualifikation des Personals gestellt. Da ein Zertifikat nach fünf Jahren ausläuft, wird es eine Übergangszeit bis 2018 geben, in der die Zertifizierung nach dem alten Arbeitsblatt DVGW W 120 (Gruppe 2) noch Gültigkeit hat. Die hier aufgeführten Leitlinien wurden an das neue Arbeitsblatt DVGW W 120-2 angepasst, wobei die Übergangsfristen berücksichtigt werden.

Versicherungsschutz

Im Zuge der Zertifizierung bewertet der zuständige Sachverständige, ob die Bohrfirma über einen branchenüblichen Versicherungsschutz gegen Umwelt- und Gebäudeschäden verfügt. Eine Regeldeckungssumme ist dabei nicht festgelegt. Diese soll für Haftpflichtversicherungen bei mindestens 5 Mio. € Deckungssumme liegen. Die Haftung für ggf. auftretende Schäden durch eine Bohrung liegt dem Grunde nach, wenn alle am Bauvorhaben beteiligten

Unternehmen ihrer beruflichen Sorgfaltspflicht nachkommen, beim Auftraggeber (Bauherren). Selbst bei schuldhaftem Handeln eines beteiligten Unternehmens ist der Nachweis des Fehlverhaltens oft schwierig und somit kommt die Haftpflichtversicherung des jeweiligen Unternehmens ggf. nicht ohne weiteres für die Beseitigung von auftretenden Schäden auf.

Mögliche Risiken / Schäden können sein:

- Erdhebung, Erdsenkung
- Erdbeben, Erdrutsch
- Anschnitt von artesisch gespannten Grundwasserleitern (Überflutung, Langzeitveränderung am regionalen hydraulischen Regime)
- Gasaustritt
- Eintrag mikrobiologischer und chemischer Verunreinigungen (ggf. Verschleppung und Ausdehnung von Verschmutzungen)
- Hydraulischen Kurzschluss zweier getrennter Grundwasserstockwerke (ggf. Veränderung der Grundwassereigenschaften; Salzaufstieg)

Deshalb wird der Abschluss einer verschuldungsunabhängigen Versicherung mit einer Deckungssumme in Höhe von 1 Mio. Euro durch den Bauherrn zur Abdeckung etwaiger durch die Bohrung verursachter Schäden empfohlen, sofern das bohrausführende Unternehmen nicht nachweislich über eine solche Versicherung verfügt. Dabei ist auch auf die Nachhaftungszeit der Versicherung für spätere oder schleichend auftretende Schäden zu achten. Erhöhte Georisiken (z.B. artesische Verhältnisse oder Naturgas) können durch eine entsprechende Zusatzversicherung (Arteserversicherung) abgedeckt werden.

Qualifikation des Bohrpersonals und der Geräteführer

Nach DVGW W 120-2 (Stand 7.2013) sollte auf der Baustelle mindestens ein ausgebildeter Brunnenbauer oder anderes geeignetes Personal eingesetzt werden. Für das geeignete Personal gelten folgende Mindestvoraussetzungen:

Einschlägige Berufserfahrung als

- Fachkraft für geothermische Zwecke und Einbau von geschlossenen Wärmeträger-Systemen oder
- Brunnenbauermeister
- Bohrgeräteführer nach ehemaliger DIN 4021 oder
- Facharbeiter für geologische Bohrungen oder
- Bergbautechnologe der Fachrichtung Tiefbohrtechnik oder
- Vorarbeiter Geothermie

oder gleichwertige Abschlüsse.

Das geeignete Personal sollte seine fachliche Qualifikation nachweisen. Das Unternehmen sollte belegen, dass das Fachpersonal mindestens alle drei Jahre an einer einschlägigen firmenexternen Fort- und Weiterbildungsmaßnahme teilgenommen hat. Zusätzlich zu den Anforderungen der DVGW sollte der Bohrgeräteführer eine mindestens zweijährige Berufserfahrung im Bereich der oberflächennahen Geothermie sowie Referenzprojekte und —bohrungen für geothermische Zwecke nachweisen. Die Bohrung sollte von dieser qualifizierten Person durchgeführt werden. Der Bauherr sollte sich entsprechende Nachweise vorlegen lassen.

2. Bohrverfahren, Ausrüstung, geologische Ansprache und Dokumentation

Bohrverfahren

Das Bohrverfahren und der Ausbau sollten sich an den örtlichen Gegebenheiten zur geologischen und hydrogeologischen Situation orientieren und geeignet sein, auch unvorhergesehene Situationen sachgerecht zu beherrschen. Für die Planung der Bohrung/ Erdwärmeanlage sollten die geologischen Gegebenheiten recherchiert werden. In Gebieten mit Sulfat- oder Salzgesteinen, artesisches Grundwasser oder kritischem Stockwerksbau oder mit Hohlräumen (Karst, Altbergbau) ist mit erhöhten Anforderungen an die Planung und Ausführung der Bohrung zu rechnen. Das Geothermieportal von Sachsen-Anhalt gibt erste Auskünfte zur geologischen Situation am jeweiligen Standort. In Form von Arbeitsanweisungen sollte das Bohrunternehmen die geplante Ausführung mit allen Angaben für den Geräteführer darlegen, um am Standort eine sichere Bohrung und das sichere Einbringen und Abdichten der Erdsonden gewährleisten zu können. Dabei wird beispielhaft aufgeführt, welche Maßnahmen vor Ort zu beachten sind und wie diese eingesetzt und dokumentiert werden. Die Arbeitsanweisung sollte individuell für das Bauvorhaben festgelegt, wobei auf standardisierte Arbeitsanweisungen für gleichartige Arbeiten zurückgegriffen werden kann. Die Arbeitsanweisung sollte auf der Baustelle vorgehalten werden. Beispiele für Arbeitsanweisungen sind in Anlage 4 dargestellt.

In Sachsen-Anhalt wird die überwiegende Zahl aller Erdwärmesondenbohrungen im Imlochhammerverfahren hergestellt. In Lockergesteinen bzw. geklüftetem Gestein wird i.d.R. zur Stabilisierung der Bohrlochwandung mit einer Schutzverrohrung gebohrt. Die Schutzverrohrung wird in bindigen Boden oder Fels eingebunden. Die Verrohrung wird nach der Verpressung aus dem Bohrloch gezogen. Bohrungen haben eine gewisse Abweichung aus der Lotrechten. Diese Abweichung kann beim Imlochhammerverfahren besonders stark ausgeprägt sein. Eine Verrohrung oder eine geführte Bohrung mit Stabilisatoren verbessern die Vertikalität des Bohrlochs, ebenso ein Bohren mit hängendem Bohrgestänge und Meißel. Aus genehmigungsrechtlichen Gründen muss die ganze Bohrung innerhalb der Grundstücksgrenzen verbleiben.

Um gegenseitige thermische Einflüsse auszuschließen, sollten für Ein- und Zweifamilienhäuser mit einer Heizleistung von bis zu 30 kW folgende Abstände eingehalten werden:

- zwischen Erdwärmesonde und Grundstücksgrenze 5 m (Ausnahmen: Zwischen Erdwärmesonde und öffentlichen Verkehrswegen sind keine Mindestabstände einzuhalten.),
- zu Fernwärmeleitungen 3 m,
- zu Anlagen zur Lagerung wassergefährdender Stoffe 3 m,
- zwischen zwei Erdwärmesonden mindestens 5 m bzw. 6 m (bei Sondenlängen >50 m).

Für geringere Abstände sowie für Anlagen >30 kW oder Bohrtiefen >100 m bedarf es einer Einzelfallbetrachtung.

Neben den Imlochhammerverfahren gibt es weitere Verfahren, wie Schneckenbohrungen, oder Schrägbohrverfahren. Schrägbohrverfahren werden bis zu einer Tiefe von 40 Metern mit kleinerem und leichterem Bohrgerät ausgeführt. Sie stellen damit eine Alternative bei Grundstücken dar, die für ein größeres Bohrgerät schwer zugänglich sind.

Bohrlochdurchmesser

Der Mindestbohrdurchmesser für Bohrungen wird einerseits durch das Bohrungsziel, den geplanten Ausbau sowie durch weitere geologische und hydrogeologische Erfordernisse vorgegeben. Bei den sehr häufig angewendeten Doppel U-Erdwärmesonden ist der Durchmesser des eingebrachten Sondenbündels, einschließlich Verpressschlauch zu berücksichtigen. Grundsätzlich muss gewährleistet sein, dass Einbauten mit dem erforderlichen Abdichtungs- und Überwachungsequipment problemlos bis an die Bohrlochsohle eingebracht und der verbleibende Ringraum vollständig abgedichtet werden kann.

Je nach der geologischen und hydrogeologischen Situation kann ein größerer Bohrllochdurchmesser als ein Standardmaß erforderlich sein. Dies trifft zu, wenn

- der Einbau von zusätzlichem Equipment (z.B. mehrere Verpressschläuche bei hydrogeologischem Stockwerksbau) notwendig ist,
- eine einzementierte Sperrverrohrung erforderlich ist,
- mit dem Anbohren eines Artesers zu rechnen ist,
- mit größeren Hohlräumen im Untergrund zu rechnen ist.

Zur Abdichtung mehrerer Grundwasserstockwerke untereinander oder in Gebieten mit problematischen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (beispielsweise Karsthohlräume oder größere Spalten) kann es notwendig sein, mehrere Verpressschläuche mitzuführen. Alternativ können Verpressgestänge oder Verpresslanzen eingesetzt werden.

Es kann erforderlich sein, in Gebieten mit problematischen geologischen oder hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (beispielsweise Arteser) Vorkehrungen zu treffen, um eine Nachverpressung eventuell undichter Ringraumverfüllungen zu ermöglichen.

Ausrüstung auf der Bohrstelle und auf dem Bauhof

Die Ausrüstung auf der Bohrstelle und auf dem Bauhof sollte zur Umsetzung der erforderlichen Arbeiten geeignet sein. Durch vorzuhaltenden pneumatischen Packer oder in der Wirkung vergleichbare Systeme kann bei unvorhergesehenen Problemen, z.B. Antreffen eines Artesers, Wasserzutritte, Hohlräume oder Gasaustritte, schnell reagiert und das weitere Vorgehen geplant und abgestimmt werden. Außerdem sollten je nach Logistik und anstehenden Arbeiten neben dem Geräteführer mindestens ein oder zwei weitere Mitarbeiter der Bohrfirma auf der Bohrstelle tätig sein.

Wird vermutet, dass gasführende Schichten erbohrt werden können, sollte ein Gasmessgerät auf der Bohrstelle vorgehalten werden, um bei Bedarf dauerhaft Gasaustritte (Kohlendioxid, Methan oder Schwefelwasserstoff) messtechnisch zu erfassen.

Bei dem Verdacht des Antreffens salzwasserführender Schichten sollte ein Leitfähigkeitsmessgerät mitgeführt werden, um ggf. messtechnisch die Soleführung nachzuweisen und Bohr- und Verfüllmaßnahmen anzupassen.

Dokumentation des Bohrvorgangs, Ansprache der Geologie und des Grundwassers

Die detaillierte Bohrgutansprache, die geologische Gliederung der erbohrten Schichtenfolge und das Erkennen von Grundwasserzutritten sind Voraussetzung für die Erstellung eines sachgerechten Hinterfüllkonzeptes und dessen Durchführung mit dem Ziel einer dauerhaft wirksamen Abdichtung des Ringraumes.

Die Ergebnisse der Bohrung sollten folgendermaßen dokumentiert werden:

- sorgfältige Probenahme (Beprobung gemäß EN ISO 22475-1, Probenahme alle Meter, mindestens jedoch alle 2 m),
- Aufnahme der Schichtenfolge (gemäß EN ISO 14688-1/2 und EN ISO 14689-1),
- geologische Gliederung des Bohrprofils,
- Darstellung (gemäß DIN 4023),
- Messung der Wasserstände (angebohrt und Ruhewasserstand) und der Grundwasserpotenziale,
- Bei Verdacht auf Salzwasser Messung der Leitfähigkeiten
- Ergebnisse von geophysikalischen Messungen bzw. anderen Untersuchungen

Prinzipiell sind bei Imlochhammerbohrungen mit Luftspülung ohne Verrohrung im Festgestein Grundwasserzutritte erkennbar. Der Container, der das Bohrklein aufnimmt, sollte neben dem Bohrgerät stehen, so dass spätestens nach 2 m Bohrfortschritt jeweils eine Probe des Bohrkleins genommen werden kann und Veränderungen der Menge des austretenden Wassers jederzeit erkannt werden können. In der Praxis kann das Erkennen des hydrogeologischen Baus erschwert sein. Beispielsweise kann gespanntes Grundwasser, das durch Spülung oder Druckluft verdrängt wurde, verzögert austreten und so nicht richtig erkannt werden. Die Bestimmung der Wasserstände und Druckpotentiale sollte nach sorgfältiger Planung im Vorfeld mit dem dazu erforderlichen Equipment auf der Bohrstelle durchgeführt und dokumentiert werden, bevor die Verfüllung erfolgt (vgl. Arbeitsanweisung „Bestimmung von Grundwasserständen und –potenzialen“ in Anlage 4). Beim Antreffen von Artesern oder kritischem Stockwerksbau sollten ein pneumatischer Schlauchpacker oder in der Wirkung vergleichbares System, Feinmessmanometer bzw. Druckmessdose und ein Lichtlot eingesetzt werden, um die Wasserspiegellagen (angebohrt und Ruhewasserstand) und die Druckpotentiale zu dokumentieren. Bei verdrängtem Grundwasser sollte mit der Bestimmung der Wasserspiegellagen und der Druckpotentiale gewartet werden, bis das Wasser nachgeflossen ist.

Sind aus vorhandenen Projekten in der unmittelbaren Umgebung des Bohrvorhabens ausreichend verlässliche Informationen und Kenntnisse über Wasserspiegellagen und Druckpotentiale vorhanden, können diese Informationen genutzt werden. Im Zuge der neuen Bohrung sollten die Erkenntnisse plausibilisiert und in der Dokumentation die Bestätigung oder festgestellte Abweichungen dargestellt werden.

Die zuständigen Stellen (untere Wasserbehörde, LAGB) sind zu informieren bei:

- hohen Spülungsverlusten (mehr als 2 l/s)
- erheblichem Mehrverbrauch an Verfüllmaterial (doppelte Menge des geplanten)
- Artesern
- Hohlräumen
- Gasaustritten

Die Bohrdokumentation ist entsprechen §4 des Lagerstättengesetzes dem LAGB zur Verfügung zu stellen. Die Übergabe der Bohrergergebnisse an das LAGB sollte vorzugsweise über das **Anzeige- und Informationssystem** (<http://www.geodaten.lagb.sachsen-anhalt.de/lagb/>) erfolgen, kann aber auch per Post oder Mail zugesendet werden. Im LAGB werden die übergebenen Schichtenverzeichnisse in die Bohrdatenbank eingepflegt und in der Regel im Internet allen Nutzern zur Einsicht gegeben.

Durch den Eigentümer kann der Veröffentlichung im Internet bei der Übergabe der Bohrergergebnisse schriftlich widersprochen werden. In diesem Fall ist das LAGB verpflichtet, die Eigentumsrechte bei der Behandlung der übergebenen Daten zu beachten und diese nur mit Genehmigung des Eigentümers weiterzugeben.

3. Baustoffe, Mischtechnik und Abdichtung

Anforderungen an Baustoffe

Bei Baustoffen zur Ringraumabdichtung auf Zement-Bentonit-Basis ist zwischen werkseitig hergestellten Fertigbaustoffen und Eigenmischungen zu unterscheiden. Eine Eigenmischung kann nicht in der gleichmäßigen Qualität wie ein überwachtes, werkseitiges Produkt hergestellt werden. Daher sind technische Daten zu den Baustoffen nur von qualitativ überwachten Werksmischungen belastbar. Ein entsprechender Nachweis sollte erfolgen, insbesondere für die Durchlässigkeit, den Wasser-/Feststoffwert und die Suspensionsdichte, die Suspensionsstabilität und die Rheologie, die Druckfestigkeit und Hydratationswärme, den erhöhten Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel, die Widerstandsfähigkeit gegen betonaggressive Grundwässer und der Nachweis der wasserhygienischen Unbedenklichkeit.

Durchlässigkeit –kf-Wert

Bei Einsatz wassergefährdender Stoffe in der Erdwärmesonde darf die Durchlässigkeit des Verfüllmaterials maximal $1 \cdot 10^{-9}$ m/s betragen. Bei nicht wassergefährdenden Stoffen sollte die Durchlässigkeit des Verfüllbaustoffes so angepasst werden, dass die vertikale Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde zu keinem Zeitpunkt und in keiner Tiefenlage größer ist als die vertikale Durchlässigkeit des umgebenden Untergrundes (minimal $1 \cdot 10^{-9}$ m/s).

Wasser-/Feststoffwert (W/F-Wert) und Suspensionsdichte

Für die Herstellung einer Suspension sollte der jeweilige Wasser-/Feststoffwert (W/F-Wert) eingehalten werden. Dieser Wert gibt das Massenverhältnis von Wasser und Baustoff vor. Nur so können die vom Hersteller angegebenen technischen Daten eingehalten werden.

Das richtige Mischungsverhältnis von Wasser und Baustoff sollte auf der Baustelle durch Suspensionsdichtemessungen mit Hilfe von Spülungswaage, Aräometer oder mit einer 5kg-Haushaltswaage und einem definierten Litergefäß kontrolliert werden.

Die **Mindestdichte** der angesetzten Baustoffsuspension ist abhängig von der Dichte der eingesetzten Spülung und sollte bei Süßwasser als Spülungsmedium mindestens **1,3 g/cm³**, ansonsten **0,3 g/cm³** mehr als die eingesetzte Spülung betragen.

Suspensionsstabilität und Rheologie

Ausreichende Fließeigenschaften der Suspensionen sind Voraussetzung für eine sichere und

hohlraumfreie Verfüllung. Die Viskosität des Baustoffes sollte so beschaffen sein, dass alle Hohlräume über die Gesamtlänge der Bohrung trotz Fließhindernissen wie Abstandhalter, Zentrierungen und Rohre, aufgefüllt werden. Eine Aussage über die Viskosität liefert die Trichterauslaufzeit (Marshzeit). Es ist die Zeit, die 1 Liter Suspension benötigt, um aus dem Marshtrichter zu laufen. Erfahrungsgemäß liegen gut zu verarbeitende Suspensionen bei einer Marshzeit von 50 — 100 s.

Die Stabilität einer Suspension wird über das Sedimentationsverhalten beurteilt und über das Wasserabsetzmaß (Vol. %) bestimmt. Zur Messung sollte aus Gründen der Genauigkeit ein 1000 ml Messzylinder mit 6 cm Durchmesser verwendet werden. Dieser wird mit der jeweiligen Suspension gefüllt und mit einer Folie abgedeckt, um Verdunstungen zu vermeiden. Nach 3 Stunden wird das Volumen des überstehenden Wassers bestimmt und ins Verhältnis zum Gesamtvolumen gebracht. Je größer das Wasserabsetzen ist, desto geringer ist die Suspensionsstabilität. Eine geringe Suspensionsstabilität kann zu ungleichmäßigen Dichteverteilungen im Bohrlochringraum und damit bis zum Abriss der Füllsäule führen. Daher sollte das Wasserabsetzen einer Suspension einen Wert von 2% nicht überschreiten.

Druckfestigkeit und Hydratationswärme

Die nach Einbau einer ESW gemäß VDI 4640 durchzuführende Druckprüfung dient dem Nachweis, dass die Sondenrohre keine Undichtigkeiten aufweisen. Wichtig für die Gesamtdurchlässigkeit des Systems ist, dass der Baustoffkörper an den Sondenrohren anliegt und auch durch eine Druckbeaufschlagung der Rohre während der Druckprüfung kein dauerhafter Ringspalt erzeugt wird. Da die vorgeschriebene Druckprüfung zu einer Materialdehnung der Sonden führen kann, (z.B. bei PE-Materialien), wird empfohlen die Druckprüfung vor Verfüllung durchzuführen oder zu einem Zeitpunkt, an dem die Verfüllung noch ausreichend fließfähig bzw. plastisch oder schon abgebunden ist. Bei der Durchführung der Druckprüfung an den Sonden sollte die Konsistenz des eingebrachten Baustoffes entweder noch unterhalb der Stichfestigkeit, also noch innerhalb der Frischsuspensionsphase liegen oder der Baustoff sollte ausreichend fest sein, um dem aufgebrachten Druck (i.d.R. 6 bar) zu widerstehen. Die Druckfestigkeit sollte daher um den Faktor 1,5 höher als der Prüfdruck sein und 1 N/mm^2 betragen. Nach welcher Zeitdauer eine Festigkeit von 1 N/mm^2 unter Bodentemperatur (10°C) erreicht wird, richtet sich nach den Angaben des Herstellers. Liegen keine Angaben vor, ist eine Abbindezeit zur Erreichung der Festigkeit von 1 N/mm^2 von 28 Tagen anzunehmen.

Beim Abbindeprozess einer Suspension entsteht sogenannte Hydratationswärme, die im Wesentlichen von der Sorte und Menge des verwendeten Zementes abhängt. Um eine Beschädigung der Sonden durch die Wärmeentwicklung zu verhindern, sollten nur Baustoffe verwendet werden, deren unter adiabatischen Bedingungen gemessene Hydratationswärmeentwicklung einen Wert von 50°C nicht überschreitet.

Wärmeleitfähigkeit

Damit der Wärmefluss zwischen dem Untergrund und dem Sondenfluid optimal ausgelegt ist, sollte die Wärmeleitfähigkeit (WLF) des Verfüllbaustoffes mindestens so hoch sein wie die des umliegenden Gesteins. Marktgängige Verfüllbaustoffe unterscheidet man in Standard-Hinterfüllbaustoffe mit einer WLF von $0,8 \text{ W/mK}$ und thermisch optimierte Baustoffe mit einer WLF von bis zu $2,5 \text{ W/mK}$. Die Verwendung eines thermisch optimierten Baustoffes führt im Vergleich zu Standardbaustoffen zu einer Reduzierung des Bohrlochwiderstands.

Dadurch stellt sich bei gleichem Wärmefluss und gleicher Untergrundtemperatur eine höhere Temperatur des Sondenfluids ein. Dies führt zu einer höheren Systemeffizienz.

Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel

Der notwendige kf-Wert sollte auch nach einer Frost-Tau-Prüfung mit Wasserkontakt eingehalten werden. Material, das für den Betrieb einer EWS im Frostbereich (Wärmeträgermittel $< 0^{\circ}\text{C}$) eingesetzt werden soll, muss eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel aufweisen. Zurzeit gibt es keine verbindlichen Prüfbedingungen für Verfüllbaustoffe zum Nachweis des erhöhten Frost-Tau-Widerstandes. Auch muss davon ausgegangen werden, dass die Sondenrohre nach der Verfüllung des Ringraums nicht zentrisch im Bohrloch sitzen, sondern an der Bohrlochwand und daher am Gebirge anliegen können. Da nicht alle Gebirgsformationen einen erhöhten Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel aufweisen, muss davon ausgegangen werden, dass bei einem nicht frostfreien Betrieb der Erdwärmesonde das angeschlossene Gebirge durch Frost-Tau-Wechsel geschädigt werden kann. U. U. kann es dabei zu nicht beabsichtigten Wasserwegsamkeiten im Gebirge kommen. In Gebieten mit hydrogeologisch kritischen Bedingungen sollte deshalb die Erdwärmesonde so betrieben werden, dass ein Einfrieren des Untergrundes vermieden wird. Durch die physikalischen Eigenschaften des PE-Sondenrohres kann die Temperaturdifferenz von der Rohrrinnen- zur Rohraußenwand bis zu 2 Kelvin (K) betragen. Das Wärmeträgermedium in der Leitung zwischen Wärmepumpe und Sonden wird zudem bereits erwärmt. Daher kann grundsätzlich ein frostfreier Betrieb einer Erdwärmesonde bis zu einer minimalen Temperatur des Wärmeträgermediums beim Austritt aus der Wärmepumpe in Richtung EWS-Anlage von -3°C erfolgen.

Die Auslegung und Bemessung der EWS-Anlage bleibt davon unberührt und erfolgt grundsätzlich nach den Bemessungsansätzen der VDI 4640.

Wasserhygienische Beurteilung

Da die eingesetzten Verfüllbaustoffe im direkten Kontakt mit dem Grundwasser stehen, ist die wasserhygienische Unbedenklichkeit vor dem Einbau nachzuweisen. Vom jeweiligen Hersteller ist das Hygienezeugnis anzufordern, indem alle umweltrelevanten Parameter anhand einer Feststoff- und Eluatanalyse geprüft und entsprechend eingestuft sind. Ein Sicherheitsdatenblatt reicht nicht aus, um die Umweltrelevanz zu beurteilen, da dort lediglich eine Selbsteinstufung des Herstellers angegeben ist.

Widerstand gegenüber betonaggressiven Grundwässern und Böden

Bei Bohrungen können betonaggressive Grundwässer und Böden angetroffen werden. Dies sollte im Vorfeld geprüft werden. Werden nicht ausreichend widerstandsfähige Verfüllbaustoffe eingesetzt, kann es zu Schädigungen am Baustoffkörper kommen und Wasserwegsamkeiten können die Folge sein. Für die Abschätzung des Angriffspotentials eines Grundwassers wird die DIN EN 206-1 herangezogen. Dort sind Konzentrationsbereiche von betonangreifenden Wasserinhaltsstoffen und ihr Angriffspotential definiert. In Sachsen Anhalt sind Grundwässer mit hohem Sulfatgehalt sehr weit verbreitet. In den im Geothermieportal des Landes Sachsen-Anhalt ausgewiesenen Bereichen mit erhöhtem Sulfatgehalt im Grundwasser bzw. im Bereich der Verbreitung von Sulfatgesteinen, sollte unbedingt ein geprüft sulfatbeständiges Verfüllmaterial eingesetzt werden. Bei Verdacht von Sulfatgehalten > 3.000 mg bzw. Chloridgehalten > 10.000 mg sollte das angetroffene Grundwasser analysiert und die Beständigkeit der eingesetzten Verfüllbaustoffe objektkonkret nachgewiesen werden.

Um eine Kontrolle einer vollständigen Hinterfüllung zu ermöglichen, sollte vor allem in Gebieten mit problematischen geologischen und hydrogeologischen Bedingungen auf die erhöhten Anforderungen an die Bohrtechnik geachtet und nachweisbares (dotiertes) Hinterfüllmaterial verwendet werden (siehe auch Kap.4).

Anmischen der Baustoffsuspension

Voraussetzung für eine gute Anbindung bzw. Abdichtung ist die einwandfreie Verfüllung ohne Lufteinschlüsse und Hohlräume. Die Angaben des Herstellers des Abdichtungsmaterials sind zu beachten (siehe Datenblatt des Baustoffherstellers) und zu erreichen. Bei Anwendung von bentonithaltigen Suspensionen ist ein vollständiger Aufschluss der Komponenten (Bentonit) notwendig.

Deshalb sollte ein Kolloidalmischer für das Anmischen und den Aufschluss der Suspension verwendet werden. Um nach Beendigung der Bohrarbeiten evtl. im Bohrlochringraum verbliebene Bohrspülung ohne Mischzonen zu verdrängen, sollte die Suspensionsdichte der verwendeten Suspension mindestens $0,3 \text{ g/cm}^3$ größer als die eingesetzte Bohrspülung sein. Sinnvoll ist der Einsatz von automatisch gravimetrisch dosierenden Kolloidal-Mischanlagen (Chargen- oder Kontinuierliches Verfahren). Alternativ kann eine Kolloidal-Chargenmischanlage mit handgeführtem Protokoll über Wassermenge und Feststoff der Chargen eingesetzt werden.

Durch Dichtemessung der angesetzten Baustoffsuspension sollte überprüft werden, ob die erforderliche Dichte erreicht wird.

Die Suspensionsstabilität sollte über das Wasserabsetzmaß (Vol.-%) bestimmt und dokumentiert werden. Übersteigt das Wasserabsetzmaß 2 Vol.-%, weist dies auf eine potentielle geringe Stabilität der Baustoffsuspension hin. Das verfüllte Bohrloch sollte danach sorgfältig beobachtet werden, ob es Hinweise auf größere Nachsackungen oder einen Füllsäulenabriss mit schädlichen Auswirkungen gibt.

Es wird empfohlen für eine nachträgliche Beweissicherung mindestens eine Rückstellprobe der angesetzten Baustoffsuspension von jeder Charge zu nehmen. Diese ist in einem Zylinder zu füllen, der einen Durchmesser von 10 cm und eine Höhe von 10 cm nicht unterschreitet. Die Rückstellprobe sollte beschriftet, vor Kälte, übermäßiger Hitze und Austrocknung geschützt, erschütterungsfrei gelagert und mindestens bis Ende der Gewährleistungsfrist (i.d.R. 2 Jahre) aufbewahrt werden.

Einbau, Abdichtung und Dokumentation

Vor dem Einbau der Sonde sollte nochmals eine visuelle Überprüfung auf tiefere Kerben und mögliche Transportschäden der herstellereitig druckgeprüften Sonde erfolgen. Generell ist PE 100 RC (auch bei den Sondenanschlüssen) dem herkömmlichen PE 100 vorzuziehen. Um eventuelle Sondenbeschädigungen durch den Einbau rechtzeitig zu bemerken, sollte die Druck- und Durchflussprüfung der wassergefüllten Sonde noch vor dem Verpressen des Bohrlochs bzw. während der Frischsuspensionsphase erfolgen. Die Manometer sollten auch während des Verpressvorganges hinsichtlich der angezeigten Drücke kontrolliert werden. Eine

Prüfung vor Einbringen der Suspension ermöglicht ein rechtzeitiges Detektieren von evtl. Beschädigungen. Erfolgt die Druckprüfung erst während des Abbindeprozesses (Hydratationsphase) besteht das Risiko, dass sich um die bei der Druckprüfung ausdehnenden EWS-Rohre ein zusätzlicher Ringspalt bildet, der sich nach Abschluss der Druckprüfung nicht wieder schließt und damit zu Umläufigkeiten innerhalb des Systems Erdwärmesonde führen kann.

Beim Einbau von Sole-/Wassersonden sollten die EWS-Schläuche über die ganze Sondenlänge eingebracht werden. Dabei sollte das Sondenbündel je nach Wasserverhältnissen von einer gebremsten Haspel oder einem Injektionsgestänge mit glatter Wandung abgelassen werden. Um grundwasserstauende Schichten und Hohlräume besser abdichten zu können, kann ein zweiter Injektionsschlauch zusätzlich bis in die Tiefe mitgeführt werden, in der ein weiteres Grundwasserstockwerk oder ein Hohlraum erkannt wurden. Zur Abdichtung von Störungszonen kann geeignetes Material — z.B. eine Mischung aus Suspension und Kies — eingebaut werden. Alternativ kann eine Abdichtung mit einem beweglichen Verpressgestänge erfolgen. Die EWS werden beim Einbau vor dem Verfüllen des Bohrlochs mit Wasser befüllt, druckfest geschlossen und ggf. mit Druck beaufschlagt.

Alle Ringräume werden bei freihängenden EWS-Schläuchen verfüllt. Zur Überwindung des hydrostatischen Druckes des Verfüllbaustoffes, der ggf. zu verdrängenden Spülung und von Druckverlusten muss entsprechender Druck erzeugt werden. Der Ringraum sollte von unten nach oben mit der Suspension im Kontraktorverfahren verfüllt werden und die Schutzverrohrung solange im Erdreich verbleiben, bis das Abdichtungsmaterial oben am Bohrloch sichtbar austritt und die gleiche Dichte wie die angemischte Suspension aufweist. Dann erst sollte die Verrohrung gezogen und entsprechend nachverpresst werden. Ziel ist eine hohlraumfreie Verfüllung. Bei großen Verrohrungstiefen sollte das Abdichten der Bohrung und Ziehen der Verrohrung abschnittsweise erfolgen. Hierbei ist zu gewährleisten, dass der Baustoff suspensionsspiegel immer innerhalb der Verrohrung steht.

Ist die Standfestigkeit der Bohrung auch ohne Verrohrung gewährleistet, kann diese auch vorab gezogen werden.

Mit der Herstellung einer weiteren Sondenbohrung sollte erst begonnen werden, wenn der aushärtende Baustoff in der bereits abgedichteten Bohrung nicht negativ beeinträchtigt wird. Beispielsweise könnte beim Imlochhammerverfahren durch die eingebrachte Druckluft das nicht ausreichend standfeste Abdichtungsmaterial wieder ausgeblasen werden. Dies kann verhindert werden, indem beispielsweise ein ausreichender Abstand zwischen den Sonden eingehalten oder mit der nächsten Bohrung begonnen wird, wenn eine ausreichende Anfangsstandsicherheit des Baustoffes (nach Angaben des Herstellers) im bereits abgedichteten Bohrloch erreicht worden ist.

Der Abdichtungsvorgang sollte im Bohrloch vom Bohrlochtiefsten aufwärts überwacht und dokumentiert werden. Dabei sollten das Volumen der in die Bohrung eingebrachten Baustoff suspension und der Anstieg des Baustoff suspensionsspiegels im Bohrloch während der Abdichtungsphase über die ganze Tiefe und Zeit (inkl. 15 minütiger Nachlaufzeit) erfasst und dokumentiert werden. Die Tiefenangabe über den Stand der Baustoff suspension im Bohrloch und das Volumen sollten für den Bohrgeräteführer auf der Baustelle am Gerät oder den Geräten einsehbar sein. Die Tiefenangabe des Baustoff suspensionsspiegels sollten mind. auf +/-2 Meter genau sein. Eine graphische Auswertung des Volumens und des Anstiegs der Baustoff suspensionssäule über die Zeit und die Tiefe sollten erstellt und dem

Dokumentationsbericht beigefügt werden. In Gebieten mit erhöhten Anforderungen an die Bohrtechnik oder in Wasserschutzgebieten sollte diese Aufzeichnung elektronisch erfolgen. Beispielsweise kann eine Druckmesseinheit als kabelgebundene Messsonde ins Bohrloch eingeführt werden. In Abhängigkeit von der eingebrachten Suspensionsmenge und dem bekannten natürlichen Wasserstand im Bohrloch lässt dieses Verfahren Rückschlüsse auf den momentanen Suspensionsstand zu. Ein gleichbleibender Stand des Suspensionspiegels im Bohrloch bei kontinuierlicher Verfüllung weist auf einen Suspensionsverlust hin. Somit können Verlustzonen lokalisiert und Verlustmengen reduziert werden. Dies erlaubt ein fachgerechtes und tiefenbezogenes Einbringen von Suspensionen, Sanden oder Kiesen zur Überbrückung von Klüften, Hohlräumen oder Wasserhorizonten. Die Auswertung des Suspensionspiegels- und Volumenprotokolls erlaubt Rückschlüsse auf die Abdichtung und ist Bestandteil der Dokumentation durch das Bohrunternehmen.

Wesentlich für eine erfolgreiche Abdichtung im Kontraktorverfahren ist eine ausreichend dimensionierte Pumpe zum Einbringen des Abdichtmaterials. Sie sollte einen Verpressdruck von mind. 20 bar bei einem Volumenstrom von 40 bis 150 l/min (je nach Anforderung) gewährleisten.

Sämtliche dokumentierte Schritte, wie Ansprache des Untergrundes, Schichtenprofil mit eingetragenen Wasserständen und Potentialen, des Sondeneinbaus und des Abdichtungsvorgangs sowie der Ausbauplan der Bohrung (mit Angaben zur Bohrtiefe, Sondeneinbautiefe, Bohrlochdurchmesser, Sondenart/-dimensionierung, Unterkante Verpressrohr/-Gestänge) sind in einem kurzen Bericht zusammenzufassen und der unteren Wasserbehörde bzw. dem LAGB LSA nach Abschluss der Arbeiten zu übergeben.

Abdichten von Grundwasserstockwerken

Sobald sich ein Grundwasserfluss im Bohrloch einstellt, kann die Ringraumverfüllung ausgespült und dadurch eine vollständige Abdichtung des Bohrlochs verhindert werden. Bei mehreren Stockwerken ist zudem ein vertikaler GW-Fluss möglich, welcher zusätzlich zu einer Durchmischung von Grundwässern mit unterschiedlichen Eigenschaften führen kann. Ab welchem Druckpotentialunterschied von einem kritischen Stockwerksbau gesprochen werden kann, ist aus Anlage 3 „Matrix kritischer Stockwerksbau mit Fallbeispielen“ ersichtlich.

Problematisch stellen sich artesische Verhältnisse dar. Von einem Arteser spricht man, wenn der Grundwasserdruck so hoch ist, dass das Grundwasser aus der Bohrung über der Geländeoberkante zu Tage tritt. Die hauptsächlichen Einflussfaktoren auf die Beherrschbarkeit eines Artesers sind die Anbohrtiefe unter Gelände und die Druckhöhe des Wasserspiegels über Gelände (siehe auch Anlage 3).

Die Grundwasserbewegung ist vor dem Verfüllvorgang durch geeignete Maßnahmen vollständig zu unterbinden, beispielsweise durch Verrohrung, Packer oder schwere Spülung. Werden Spülmittelzusätze zur Stabilisierung des Bohrloches (wie Schwerspat oder Kreide) verwendet, sind die Vorgaben des DVGW-Merkblattes W 116 einzuhalten.

Abdichtung bei Gasaustritten

Bei Abdichtung von Gasaustritten ist die Zement angreifende Eigenschaft des Gases zu berücksichtigen. Im späteren Betrieb der Sonde muss durch die technische Bauausführung der Anlage gewährleistet sein, dass sich schleichend austretende Gase (Migration) nicht in gefährlichen Konzentrationen ansammeln können. Nähere Ausführungen enthält die DIN 4030.

Verfüllung von größeren Klüften und von Hohlräumen

Größere Hohlräume können in Gebieten mit Altbergbau oder auch in Bereichen mit Verkarstung auftreten. Hohlräume stellen besondere Anforderungen an die Abdichtung. Tonpellets stellen eine Alternative zur Zement-Bentonit-Suspension zur Verfüllung von Hohlräumen und Klüften dar. Da für den Verfüllvorgang andere Misch- und Pumpanlagen notwendig sind, ist ein Einsatz im Vorfeld sorgfältig zu planen. Werden unerwartet größere Hohlräume angetroffen, müssen die untere Wasserbehörde bzw. das LAGB LSA informiert werden. Gemeinsam ist dann eine Entscheidung über die weitere Vorgehensweise zu treffen. Im ungünstigsten Fall kann es zum Abbruch der Bohrung kommen.

Vorgehen bei Suspensionsverlusten

Treten beim Hinterfüllen von Erdwärmesonden Verlusthorizonte auf, können die Bohrungen meist nicht weiter im Kontraktorverfahren verfüllt werden. Wird ein Verlusthorizont detektiert, sollte erst mit Stopfmitteln gearbeitet werden, wenn der Nachweis erbracht wurde, dass der Horizont nicht mit Suspension verfüllt werden kann.

Dies ist der Fall, wenn das eingebrachte Suspensionsvolumen das Fünffache des theoretischen Volumens in diesem betreffenden Bereich übersteigt. Die Horizonte sollten dann möglichst genau und kleinräumig mit Stopfmitteln, meist aus Kies oder Sand, überbrückt werden. Da diese Stopfmittel höhere Durchlässigkeiten als die Suspension aufweisen, ist es wichtig, dass diese nur in dem lokalisierten Verlusthorizont und nicht in darüber liegende grundwasserstauenden Dichtschichten eingebracht werden. Unerlässlich ist es, dass die eingebrachten Stopfmittel teufengerecht detektiert und immer in Verbindung mit Suspension eingebaut werden. Die Suspension im Porenraum sorgt zum einen für einen guten Wärmeübertrag und dichtet zusätzlich ab. Es ist zu beachten, dass grundsätzlich eine Möglichkeit zum Einbau der Suspension in die betroffenen Horizonte auf der Baustelle vorhanden sein sollte. Lösungen können sein:

- Der Verpressschlauch wird gezogen und steht dann in der gewünschten Tiefe zur Verfügung.
- Es wird eine am Verpressschlauch angebrachte Stahllanze eingebaut.
- Es wird ein Verpressgestänge eingebaut.

Neben dem Einsatz von Stopfmitteln können auch Schlauchkonstruktionen angewendet werden. Eine genaue Detektion von Verlusthorizonten während der Verfüllung kann meist nur mit einer automatischen Abdichtungsüberwachung erfolgen. Der eindeutige Nachweis von Verfüllbaustoff in definierten Horizonten kann nur mit dotiertem Verfüllbaustoff erfolgen (siehe Kap. 4).

4. Bauüberwachung und geophysikalische Messungen

Bohrlochgeophysikalische Messungen

Im Zusammenhang mit der Errichtung von Erdwärmesonden sind zwei Anwendungsbereiche der Bohrlochgeophysik interessant – die Dokumentation der Schichtenfolge bzw. die Kontrolle der Hinterfüllung/ Ringraumabdichtung.

a) Dokumentation der Schichtenfolge mit physikalischen Messgrößen

Für eine ordnungsgemäße Dimensionierung der Erdwärmesonden ist die Kenntnis des Untergrundes, sprich der Schichtenfolge, unbedingte Voraussetzung. In den meistens als Spülbohrungen geteufte Bohrungen ist eine genaue Schichtbeschreibung nur sehr eingeschränkt möglich. Die in der Erkundungsgeologie bereits routinemäßig eingesetzten Bohrlochmessungen ermöglichen die Bestimmung von Lithologie, Schichtgrenzen, Porosität, Klüftigkeit, Wasseranschnitt. Der Einsatz der Bohrlochgeophysik erfolgt bei der Errichtung von Erdwärmesonden nach Bohrende und vor dem Einbau der Sondenrohre und erfordert nur einen geringen Zeitaufwand (je nach Tiefe 1 bis 2 Stunden). Insbesondere bei mehreren geplanten Sonden sollte eine geophysikalische Vermessung erfolgen, um die Dimensionierung an das angetroffene Schichtenprofil anzupassen. Für eine richtige Dimensionierung der EWS reicht es in der Regel aus, eine Gliederung nach rolligen (z.B. Sande und Kiese) und bindigen Schichten (z.B. Tone und Schluffe) vorzunehmen. Hierfür ist eine Kombination der Messverfahren GR (Gamma-Ray-Log, Messung der natürlichen Gammastrahlung) und FEL (Fokussiertes-Elektro-Log, Messung des elektrischen Widerstands) meistens ausreichend. Sollen weitergehende Informationen aus der Bohrlochgeophysik gewonnen werden, z.B. zu Klüftigkeit, Wasserführung, Grundwassermineralisation, Kohlenflözen, Grundwasserzufluss- und -verlusthorizonten, so ist ein umfänglicheres Messprogramm erforderlich, das durch einen erfahrenen Bohrlochgeophysiker geplant werden sollte.

b) Kontrolle der Hinterfüllung/ Ringraumabdichtung

Die meisten Schadensfälle entstehen aus einer nicht sachgemäßen Hinterfüllung. Im Brunnenbau ist die Kontrolle der Filterlage und der Hinterfüllung/ Ringraumabdichtung bereits Standard. Die für die Kontrolle von Brunnen und Grundwassermessstellen notwendigen bohrlochgeophysikalischen Messungen sind in verschiedenen technischen Regelwerken, insbesondere des DVGW niedergeschrieben. Bei der Überprüfung von EWS besteht jedoch das Problem, dass die bohrlochgeophysikalischen Standardmesssonden auf Grund ihres Durchmessers für EWS in der Regel nicht geeignet sind. Zwischenzeitlich wurde jedoch durch den Bau miniaturisierter bohrlochgeophysikalischer Messsonden weitestgehend Abhilfe geschaffen.

Temperaturmessungen

Die Temperaturmessungen können einen Grundwasserfluss anzeigen. Eine signifikante Temperaturänderung kann auf horizontale Grundwasserströmung im Bereich eines Grundwasserleiters hindeuten oder ein Hinweis auf eine vertikale Grundwasserbewegung in einem unzureichend abgedichteten Ringraum sein. Der Nachweis einer undichten Ringraumabdichtung bedarf in der Regel jedoch zusätzlicher Untersuchungen, z.B. ergänzender anderer bohrlochgeophysikalischer Messungen, um die Eindeutigkeit der

Messergebnisse zu belegen. Anzumerken wäre, dass Temperaturmessungen von zahlreichen Faktoren beeinflusst werden, so z.B. der Hydratationswärme der abbindenden Ton-Zement-Suspension, der Temperatur der eingebrachten Ton-Zement-Suspension und vor allem auch der Wärmeleitfähigkeit der umgebenden Gesteine. Wenn diese Randbedingungen nicht bekannt sind, können über die Teufe der EWS aufgenommene Temperaturprofile zu falschen Aussagen führen.

Eine besondere Form der Temperaturmessung ist der Einsatz von faseroptischen Kabeln. Diese können bereits vor dem Einbau auf den EWS-Schläuchen befestigt werden und zusammen mit ihnen eingebaut werden. Auch in bestehende Sondenschläuche können sie nachträglich eingeführt werden. Wenn Glasfaserkabel bei der Erstellung der EWS eingebaut werden, kann zu einem späteren Zeitpunkt ohne Zugang zu den Sondenrohren eine Temperaturmessung im Bohrloch erfolgen. Der Einbau von faseroptischen Kabeln und deren Messung sind jedoch kostenintensiv.

Kabelgebundene Messsonden mit einem geringen Durchmesser geben die Temperatur bezogen auf die Kabellänge an.

Messung der natürlichen Gammastrahlung – (Gamma-Ray-Log)

Im Brunnenbau und für Grundwassermessstellen werden Gamma Messungen zur Kontrolle von Abdichtungen seit langem erfolgreich eingesetzt. Um Fehlstellen in der Ringraumabdichtung mit Hilfe eines Gamma-Ray-Logs identifizieren zu können, werden die Abdichtungsmaterialien mit gammaaktiven Substanzen dotiert (z.B. mit Zirkon-Sand). Die Zusätze sind allerdings sehr preisintensiv und deshalb für eine breite Anwendung im Bereich Erdwärmesonden wenig geeignet.

Magnetische Suszeptibilität

Von einigen Zementherstellern werden den Ton-Zement-Suspensionen ferromagnetische Zusätze (z.B. metallisches Eisenpulver) beigemischt. Mittels einem MAL (Magnetik-Log) wird die magnetische Suszeptibilität über die gesamte Teufe der EWS gemessen. Hierzu wurden MAL-Sonden entwickelt die auf Grund ihres sehr geringen Außendurchmessers (18 mm) problemlos in die EW-Schläuche eingeführt werden können. Mit dieser Messung ist der Nachweis einer lückenlosen Hinterfüllung und damit Abdichtung von EWS möglich. Die Messung kann sowohl während der Verfüllung als auch im Nachgang ausgeführt werden. Um nachhaltige Sicherheit bezüglich der vollständigen Verfüllung des Ringraumes zu erhalten, ist eine Messung nach Erhärten der Suspension zu empfehlen. Auch Aussagen zur Qualität (z.B. Akkumulation von Wasser oder Nachfall) der Abdichtungsuspension sind möglich. Voraussetzung ist jedoch der Einsatz von ferromagnetisch markierten Ton-Zement-Suspensionen.

c) Randbedingungen für Messungen

Die Möglichkeit, Kontrollmessungen durchführen zu können, ist für EWS-Anlagen in Gebieten mit erhöhten Anforderungen an die Bohrtechnik (beispielsweise kritischer Stockwerksbau) relevant. Bereits bei der Planung von EWS-Anlagen sollten geeignete Hinterfüllmaterialien vorgesehen werden, die eine nachträgliche Kontrolle ermöglichen.

Für eine Messung wird grundsätzlich ein Mindestinnendurchmesser der Sondenrohre von

25 mm benötigt. Der Einbau der Sondenschläuche sollte weitestgehend verwindungsarm erfolgen. Dazu ist der Einbau der Sondenschläuche unter Verwendung von Gewichten am Sondenfuß zu empfehlen.

Um die Messgeräte einsetzen zu können, sollte die EWS zugänglich sein. Falls sich in Bereichen mit einer dichten Bebauung eine dauerhafte Überbauung einer EWS oder eines EWS-Feldes nicht vermeiden lässt, ist in Gebieten mit problematischen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen für ein EWS- Feld ein Konzept im Vorfeld zu erarbeiten, wie Messungen ermöglicht werden können. Denkbar sind Messungen an ausgewählten EWS, bevor beispielsweise eine Bodenplatte über dem Sondenfeld errichtet wird, oder der Zugang am Sondenverteiler für ein kabelloses Messsystem. Alternativ oder ergänzend können repräsentative EWS mit Glasfaserkabeln ausgerüstet werden, deren Anschluss durch die Bodenplatte mitgeführt wird. Auch bestehende in der Nähe gelegene geeignete, oder zum Monitoring neu zu errichtende Grundwassermessstellen können in die Konzeption einbezogen werden. Eine solche Ausrüstung kann hilfreich sein, um bei Verdacht nachzuweisen, ob Geothermieprojekte bestimmte Schäden, z.B. im Grundwasser oder an Gebäuden, verursachen oder nicht verursachen. Ein dauerhafter Zugang, insbesondere auch für kabelgebundene Bohrlochmesssonden, kann durch den Einbau eines T-Stücks, unmittelbar am Bohrlochmund, erreicht werden. Das T-Stück ist dann nach oben mit einem Stopfen zu verschließen. Von dem seitlichen Abgang kann die Leitung direkt zum Verteiler geführt werden. Sollten zu späterer Zeit Probleme mit der EWS auftreten, so ist das System drucklos zu machen und das T-Stück frei zu legen. Über das T-Stück ist die Einfahrt verschiedenster Messsysteme dann möglich.

Bauüberwachung

Die eigentliche Pflicht zur Überwachung einer Erdwärmesondenanlage obliegt den Bauherren.

Bei Bohrungen in Trinkwasserschutzgebieten (Zone 1 und 2 in der Regel verboten, Zone 3 Einzelfallentscheidung notwendig) sowie in geologisch gefahrgeneigten Sondergebieten (siehe Anlage 2) sollte eine unabhängige Betreuung bzw. Überwachung erfolgen. Die Betreuung bzw. Überwachung kann bspw. durch den angestellten European Geologists oder den öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen erfolgen, sofern dieser nicht den Weisungen der ausführenden Bohrfirma unterliegt und eigenverantwortlich entscheidet. Der unabhängige Sachverständige begleitet die Bohrung geologisch/hydrogeologisch, überwacht den Einbau der Sonde und die Abdichtung des Ringraums und nimmt, wenn erforderlich, Kontrollmessungen vor. Sachverständig ist, wer mit der regionalen Geologie vertraut ist, über ausreichende Fachkenntnisse im Bereich der Dimensionierung von EWS-Anlagen und über vertiefte Kenntnisse über Bohrtechnik, Baustoffe, Misch- und Messtechnik verfügt.

Die Schwerpunkte der Bauüberwachung richten sich nach den geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen. Beispielsweise ist bei sulfathaltigem Gestein der Schwerpunkt auf die Bestimmung des Sulfatspiegels zu legen, während beim kritischen Stockwerksbau die Wasserspiegellagen und Druckpotentiale richtig bestimmt werden müssen und die vollständige Abdichtung der verschiedenen Grundwasserstockwerke zu überwachen ist. In der Umgebung vorhandene und übertragbare Kenntnisse über die Untergrundverhältnisse können bei verläSSLicher Bestimmung und Dokumentation der in früheren Projekten angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse genutzt

und der Umfang der Bauüberwachung entsprechend angepasst werden. Die Überwachung sollte in Absprache mit der unteren Wasserbehörde je nach Kenntnis über die geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen gezielt zu den relevanten Arbeitsschritten erfolgen. Dabei sollte auf die ordnungsgemäße Durchführung der Arbeiten geachtet, diese dokumentiert und schriftlich bestätigt werden.

Eine Überwachung sollte auch dann erfolgen, wenn für ein Sondenfeld die Heizleistung der Wärmepumpe mehr als 30 KW beträgt oder die Gesamtbohrmeterzahl größer als 600 m zählt. Je nach geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten kann die Anzahl und/oder der Umfang der Überwachung verdichtet oder gelockert werden, beispielsweise, wenn bei verlässlicher Bestimmung und Dokumentation der in früheren Projekten angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ausreichend Erkenntnisse über den geologischen Aufbau aus benachbarten Bohrungen oder aus bereits ausgeführten Bohrungen innerhalb eines Projektes vorhanden sind.

5. Stilllegung einer EWS

Feststellungen und Handlungsbedarf

Eine Stilllegung kann erfolgen nach Außerbetriebnahme der Wärmanlage. Nach einer einfachen Außerbetriebnahme verbleiben die Sonden in der Regel im Untergrund, müssen aber freigespült und mit Wasser gefüllt werden.

Eine Stilllegung muss ggf. in Folge eines Schadensfalles erfolgen. In diesem Fall ist der weitere Handlungsbedarf gemeinsam mit der zuständigen Wasserbehörde zu prüfen und festzulegen. Ein Handlungsbedarf im Sinne einer Sanierungsnotwendigkeit ergibt sich dann, wenn konkrete Hinweise vorliegen, dass unkontrolliert Grundwasser aus einem Aquifer wegfließt und dadurch Schäden verursacht werden können oder Schäden durch das Bohrverfahren entstanden sind. Zu Schäden zählen:

- dauerhaftes Versiegen oder dauerhafter massiver Rückgang einer Quellschüttung,
- unkontrollierter Austritt eines Artesers,
- Kurzschluss mehrerer Grundwasserleiter mit einer nicht kleinräumigen und nachhaltigen Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Grundwassers, wenn eine natürliche Verbindung in unmittelbarer Umgebung nicht zu erwarten ist,
- eine nicht kleinräumige und nachhaltige Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Grundwassers (beispielsweise durch belastete Flächen in Siedlungsgebieten),
- Beschädigung von Kanälen, sei es durch den Bohr- und/oder Verfüllvorgang,
- Verunreinigung eines Oberflächengewässers,
- Gebäudeschäden, beispielsweise durch Setzungsprozesse aufgrund von Grundwasserabsenkung, durch Hebungsprozesse aufgrund von Quellprozessen (z.B. Anhydritquellen) oder Sackung des Geländes beim Anfahren eines Hohlraumes.

Erste Erkenntnisse auf gravierende Fehlstellen in der Ringraumabdichtung mit unkontrolliertem Grundwasserfließen können die oben aufgeführten geophysikalischen Messungen liefern.

Monitoring

Falls sich Hinweise auf ein Schadensereignis durch Messungen bestätigen, aktuell aber kein Sanierungsbedarf besteht, empfiehlt sich ein Monitoringprogramm. Dabei ist in geeigneter und verhältnismäßiger Weise zu überprüfen, ob sich die Situation nicht verschlechtert.

Dafür kommt eine Wiederholung der vorgenommenen Messungen (Dichtheit der Hinterfüllung und/oder Temperaturmessung) in der Sonde in Betracht, ersatzweise oder zusätzlich auch eine Überwachung des Nahfeldes der beschädigten EWS. Das Monitoring ist nach den gewonnenen Erkenntnissen anzupassen, in dem die Wiederholungsintervalle ausgedünnt oder verdichtet werden. Wenn das Monitoring Erkenntnisse liefert, dass der Zustand sich nicht nachteilig verändern wird, kann es beendet werden.

Sanierungsverfahren

Grundsätzlich sind zerstörungsfreie Verfahren denen, die eine EWS zerstören, vorzuziehen. Zerstörende Sanierungsverfahren sind aufwendig und kostenintensiv. Sie sollen nur dann eingesetzt werden, wenn eindeutig nachgewiesen ist, dass Dritte oder das Wohl der Allgemeinheit durch eine EWS geschädigt werden und eine Sanierung ein verhältnismäßiges Mittel ist, um den Schaden zu stoppen oder zu beheben.

Zerstörungsfrei

In Gebieten mit erhöhten Anforderungen an die Bohrtechnik (z.B. kritischer Stockwerksbau, Arteser) wird empfohlen, bereits beim Bau der Erdwärmeanlage Vorkehrungen zu treffen, um mit einem einfachen Verfahren undichte Zementationen nachverpressen. Beispielsweise kann ein weiterer Nachverpressschlauch mit Manschettenöffnung in 30 cm bis 50 cm Abständen in das Bohrloch eingebaut werden. Dies kann größere Bohrlochdurchmesser erfordern. Alternativ zu einem Manschettenschlauch kann auch der nicht gezogene Injektionsschlauch freigespült werden. In diesem wären sowohl Messungen, wie auch eine nachträgliche Sanierung mit dem Hochdruckschneideverfahren möglich.

Zerstörend

Beim Hochdruckschneideverfahren werden die betroffenen Sondenschläuche oder der Injektionsschlauch mit einem Hochdruckwasserstrahl in verschiedenen Tiefen aufgeschnitten und abschnittsweise nachverpresst. Die behandelten Sondenschläuche werden bei diesem Verfahren zerstört. Die unmittelbar benachbarten Sonden bleiben trotz der starken Drücke (rd.700 bar am Düsenaustritt) unversehrt. Ein Betrieb der sanierten EWS mit Wasser als Wärmeträgermedium ist zu prüfen.

Als weiteres Sanierungsverfahren ist eine Abdichtung beispielsweise eines Artesers mit einem Zwei-Komponenten-Schaum (PU-Schaum) möglich.

Eine *Überbohrung* kann erfolgen, sofern die Bohrung nicht zu stark aus der Lotrechten abweicht, bzw. die schadhafte Stelle nicht zu tief liegt. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

Stilllegung einer EWS

Falls eine EWS dauerhaft stillgelegt werden muss, sei es aus einem Schadensereignis heraus oder aus einem einfachen Abschalten der Anlage, sollten die Sondenrohre frei gespült und mit Wasser gefüllt werden. Das vorhandene Wärmeträgermittel muss fachgerecht/ordnungsgemäß ausgespült und entsorgt werden. Die Stilllegung ist der unteren Wasserbehörde vor Durchführung der Maßnahme anzuzeigen.

Falls eine Ringraumabdichtung im Laufe der Zeit (z.B. auch nach der Stilllegung) undicht werden sollte und zu einem sanierungsbedürftigem Schaden führt, ist es für eine Sanierung hilfreich, dass die Sondenrohre (-schläuche) für z.B. geophysikalische Untersuchungen zur Verfügung stehen und deshalb nicht nachträglich verpresst werden.